

**ESTUDIO DEL EFECTO DEL MESOCARPIO DEL COCO Y ESTIÉRCOL  
BOVINO EN LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y RESISTENCIA A LA  
COMPRESIÓN DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA**



**Autores:**

**CÉSAR AUGUSTO MIRANDA CANTILLO  
JASON QUINTERO TORRES**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MONTERÍA - CÓRDOBA  
2019**

**ESTUDIO DEL EFECTO DEL MESOCARPIO DEL COCO Y ESTIÉRCOL  
BOVINO EN LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y RESISTENCIA A LA  
COMPRESIÓN DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA**



**Autores:**

**CÉSAR AUGUSTO MIRANDA CANTILLO  
JASON QUINTERO TORRES**

**Director:**

**ING. YAHIR ENRIQUE GONZÁLEZ DORIA M.Sc.**

**Codirector:**

**ING. LUIS ARMANDO ESPITIA SANJUÁN Ph.D.**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MONTERÍA - CÓRDOBA  
2019**

La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del  
proyecto, serán responsabilidad de los autores.

Artículo 61, acuerdo N° 093 del 26 de noviembre de 2002 del consejo superior.

## **NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

**ING. YAHIR ENRIQUE GONZÁLEZ DORIA M.Sc.**  
**Director**

---

**ING. LUIS ARMANDO ESPITIA SANJUÁN Ph.D.**  
**Codirector**

---

**ING. JIMY UNFRIED SILGADO Ph.D.**  
**Jurado**

---

**ING. ARNOLD MARTÍNEZ GUARÍN Ph.D (C).**  
**Jurado**

## **DEDICATORIAS**

En primer lugar, a Dios por permitir que alcanzara este enorme logro y por haberme guiado por este glorioso camino. Dedicado a la memoria de mi padre Henry Antonio Miranda Alegría. A mi madre Ledis Cantillo Porto, mis hermanos Carlos Arturo Miranda Cantillo Henry Antonio Miranda Cantillo, Luis Mario Miranda Álzate y mis hermanas María José Miranda Peña y Daniela Miranda Díaz por brindarme siempre su confianza, fortaleza y apoyo en todo mi proceso académico. Mi hija Elissa Lucia Miranda Montes que fue el pilar fundamental para motivarme y fuerza de voluntad.

*César Augusto Miranda Cantillo*

Primero que todo a Dios por alcanzar este gran logro en mi vida y guiarme siempre por el camino correcto. A mis padres Humberto Quintero Villa y Farides Torres Vergara, a mi hermano Jorge Quintero Torres y a Kelly Peñaranda, por ser personas que me brindaron siempre un apoyo incondicional, su confianza, afecto y estuvieron en todo momento dándome esa voz de aliento y fuerzas para seguir adelante en mi proceso académico. Mis compañeros de clases y amigos que de manera directa e indirecta aportaron conocimientos y enseñanzas durante mi etapa académica.

*Jason Quintero Torres*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por la oportunidad de culminar esta etapa de nuestras vidas, donde se abren nuevos caminos. A nuestros padres por el apoyo incondicional, su confianza y la entrega que tuvieron durante toda nuestra etapa académica; gracias a ellos hemos conseguido escalar un peldaño más en nuestras vidas. También agradecer a esos familiares que de manera directa e indirecta fueron un apoyo y voz de aliento en nuestra formación académica y personal.

A nuestro director de trabajo de grado el ingeniero Yahir Enrique Gonzáles Doria y codirector Luis Armando Espitia Sanjuán por sus enseñanzas, por su valioso tiempo, por transmitirnos sus conocimientos y su amplia experiencia en el campo de la investigación para poder llevar a cabo este trabajo de grado.

A todos los ingenieros que hicieron parte de nuestro proceso de formación académica, ya que sin su dedicación y valioso conocimiento no hubiese sido posible habernos formado como profesionales en ingeniería mecánica.

A todos esos compañeros que con el pasar del tiempo se fueron convirtiendo en grandes amigos y demás personas que hacen parte del programa de ingeniería mecánica.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN .....	17
2. OBJETIVOS .....	19
2.1. Objetivo general.....	19
2.2. Objetivos específicos.....	19
3. MARCO TEÓRICO.....	20
3.1. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	20
3.2. AISLANTE TÉRMICO.....	22
3.3. CONDUCTOR TÉRMICO .....	23
3.4. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA .....	23
3.4.1. Método de cajas de estado estacionario .....	24
3.4.2. Método de placa caliente en estado estable .....	24
3.4.3. Método de alambre caliente transitorio.....	25
3.4.4. Método de fuente de plano transitorio .....	26
3.5. RESIDUOS ORGÁNICOS .....	27
3.6. COCO.....	27
3.7. FIBRAS NATURALES.....	28
3.8. FIBRAS DEL MESOCARPIO DEL COCO.....	29
3.9. ESTIÉRCOL .....	30

3.10.	DENSIDAD .....	31
3.11.	MORTERO.....	31
3.12.	CEMENTO .....	31
3.13.	AGREGADOS O ÁRIDOS.....	32
3.14.	CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN SU TAMAÑO .....	32
3.15.	RESISTENCIA EN MORTEROS.....	33
3.16.	BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN .....	35
3.17.	BLOQUES VIBRO COMPACTADOS .....	37
3.18.	ENSAYO A COMPRESIÓN PARA BLOQUES VIBRO COMPACTADOS.....	38
3.19.	ESPECTROSCOPÍA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR) .....	38
3.20.	DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX) .....	39
3.21.	MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM) .....	39
4.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	44
4.1.	OBTENCIÓN DEL MESOCARPIO DEL COCO (FIBRA DE COCO).....	44
4.2.	OBTENCIÓN DEL ESTIÉRCOL BOVINO.....	45
4.3.	CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LOS MATERIALES.....	46
4.3.1.	Análisis próximo de la fibra de coco y del estiércol bovino.....	46
4.3.2.	Análisis elemental de la fibra de coco y estiércol bovino.....	47
4.3.3.	Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).....	47
4.3.4.	Difracción de rayos X (DRX).....	48
4.3.5.	Microscopia electrónica de barrido (SEM).....	48



4.3.6.	Densidad de la fibra de coco y del estiércol bovino. ....	48
4.4.	PREPARACIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS UTILIZADOS PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES Y PROBETAS. ....	53
4.5.	ARENA Y CEMENTO .....	54
4.6.	ELABORACIÓN DE LOS BLOQUES VIBRO COMPACTADOS Y PROBETAS PARA ENSAYOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA. ....	55
4.7.	ENSAYOS REALIZADOS A LOS BLOQUES Y PROBETAS PARA ENSAYOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	60
4.7.1.	Estudio de conductividad térmica a las probetas. ....	60
4.7.2.	Ensayos de compresión a bloques vibro compactados. ....	62
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	65
5.1.	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LOS MATERIALES. ....	65
5.1.1.	Resultados del análisis próximo de los materiales. ....	65
5.1.2.	Resultados del análisis elemental de los materiales.....	66
5.1.3.	Análisis por microscopia óptica .....	67
5.1.4.	Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).....	68
5.1.5.	Microscopia electrónica de barrido (SEM).....	72
5.1.6.	Densidad de los materiales .....	74
5.1.7.	Resultados del analisis de la arena y el cemento.....	74
5.1.8.	Elaboración de bloques y probetas para la medición de conductividad térmica	75

5.2.	ENSAYOS REALIZADOS A LOS BLOQUES Y PROBETAS PARA LA CONDUCTIVIDAD	
	TÉRMICA.....	75
5.2.1.	Resultados de conductividad térmica a las probetas conforme a la norma ASTM C177-19	75
5.2.2.	Resultados de resistencia a la compresión de los bloques vibro compactados conforme a la norma ASTM C140 .....	77
6.	CONCLUSIÓN.....	81
7.	RECOMENDACIONES.....	83
8.	REFERENCIAS.....	84
9.	ANEXOS .....	91

## LISTA DE FIGURA

<b>Figura 1</b> Transferencia de calor unidimensional por conducción. ....	21
<b>Figura 2</b> Análisis de la conducción del calor, A representa el área perpendicular a la dirección de transferencia de calor. ....	22
<b>Figura 3</b> Esquema del método de la caja. ....	24
<b>Figura 4</b> Esquema del método de placa caliente en estado estable. ....	25
<b>Figura 5</b> Esquema del método de alambre caliente transitorio. ....	26
<b>Figura 6</b> Esquema del método de fuente de plano transitorio. ....	26
<b>Figura 7</b> Esquema de las fracciones de los residuos orgánicos. ....	27
<b>Figura 8</b> Partes del coco. ....	28
<b>Figura 9</b> Imagen de la fibra de coco. ....	29
<b>Figura 10</b> Correlación entre la resistencia del mortero y la relación a/c. ....	34
<b>Figura 11</b> Tipos de bloques. ....	36
<b>Figura 12</b> Diagrama esquemático del método de vibro compactación. ....	37
<b>Figura 13</b> Mesocarpio del coco (Fibra). ....	45
<b>Figura 14</b> Estiércol recolectado y empacado. ....	45
<b>Figura 15</b> Balanza de referencia Ohaus CP413® con resolución 0.0001 g y la fibra de coco. ..	49
<b>Figura 16</b> Balanza de 500 ml con la fibra de coco sumergida. ....	49
<b>Figura 17</b> Estiércol expuesto al sol para el secado natural. ....	50
<b>Figura 18</b> Máquina trituradora de molino de martillo. ....	51
<b>Figura 19</b> Estiércol antes y después del triturado respectivamente. ....	51
<b>Figura 20</b> Balanza y probeta con estiércol. ....	52
<b>Figura 21</b> Mezcla con fibra de coco sin ser recortada. ....	53
<b>Figura 22</b> Bloques con 15% de estiércol. ....	54
<b>Figura 23</b> Medida de los bloques vibro compactados. ....	57
<b>Figura 24</b> Mezcla de estiércol, arena, cemento y agua. ....	58

<b>Figura 25</b> Mezcla de la fibra de coco, arena, cemento y agua. ....	58
<b>Figura 26</b> Placa de madera usada para vaciar la mezcla utilizada en los ensayos de conductividad térmica. ....	59
<b>Figura 27</b> Dispositivo para evaluar el coeficiente de conductividad térmica. ....	60
<b>Figura 28</b> Montaje del poliestireno expandido para la calibración del dispositivo de medición de conductividad térmica. ....	61
<b>Figura 29</b> Montaje de las probetas para la medición de conductividad térmica. ....	62
<b>Figura 30</b> Máquina universal de ensayos MTS Criterion modelo 45. ....	63
<b>Figura 31</b> Montaje de los bloques en la maquina universal de ensayos. ....	64
<b>Figura 32</b> A) Mezcla de fibra de coco con cemento y arena. Figura 32. B) Mezcla de fibra de coco, estiércol, arena y cemento .....	67
<b>Figura 33</b> A) Fibra de coco sin ser adicionada en la mezcla de mortero. Figura 33. B) Fibra de coco y estiércol bovino adicionado en la mezcla de mortero. ....	68
<b>Figura 34</b> Espectro FTIR fibra de coco .....	68
<b>Figura 35</b> Espectro FTIR estiércol bovino. ....	70
<b>Figura 36</b> A) SEM muestra de bloque M E3-F0 a 50 $\mu m$ . Figura 36. B) SEM muestra de bloque M E3-F0 a 10 $\mu m$ . C) SEM muestra de bloque M E3-F1,5 a 50 $\mu m$ . Figura 36. D) SEM muestra de bloque M E3-F1,5 a 10 $\mu m$ . ....	72
<b>Figura 37</b> Gráfica de conductividad térmica para las probetas con diferentes tipos de proporciones. ....	76
<b>Figura 38</b> Gráfica de resistencia a la compresión para bloques vibro compactados con diferentes tipos de proporciones. ....	77
<b>Figura 39</b> Gráfica de porcentaje de absorción de agua de bloques vibro compactados con diferentes tipos de proporciones. ....	79

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación general del agregado según su tamaño .....	33
Tabla 2 .....	34
Tabla 3. Requisito de resistencia a la compresión de bloques de mampostería no estructural ....	38
Tabla 4. Información del análisis próximo de la fibra de coco.....	46
Tabla 5. Porcentaje de estiércol y fibra de coco para reemplazarla por arena .....	55
Tabla 6. Valores obtenidos para la calibración del dispositivo.....	61
Tabla 7. Propiedades analizadas bajo la norma ASTM C 140.....	63
Tabla 8. Resultados del análisis próximo a la materia orgánica .....	65
Tabla 9. Resultados del análisis elemental a la materia orgánica .....	66
Tabla 10. Densidad de los materiales orgánicos .....	74
Tabla 11. Proporciones de materiales empleados para obtener un 1 m <sup>3</sup> de mortero .....	75
Tabla 12. Descripciones de los bloques de control y del bloque M E3-F1,5.....	80

## TABLA DE ANEXOS

A 1: Procedimiento para el cálculo de mortero.....	91
A 2: Granulometría y módulo de finura de la arena utilizada.....	95
A 3: Cálculo de la densidad de la arena.....	95
A 5: Cantidades en volumen y masa respectivamente usados de cada material para la fabricación de un bloque y probeta de acuerdo a cada tratamiento. ....	97
A.6: Cálculo del porcentaje de absorción de agua del bloque M E3-F1,5.....	100
A.7: Estudio de costos .....	101

## RESUMEN

En este trabajo de investigación se realizaron pruebas de medición de conductividad térmica acorde a la norma ASTM C 177 (2013) a bloques fabricados con mortero, estiércol bovino y fibra de coco en donde se modificaron hasta un 10% el estiércol bovino y un 1,5% la fibra de coco el volumen de la arena total utilizada en un bloque. Posteriormente se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, se evaluó el porcentaje de absorción de humedad y densidad bajo la norma ASTM C140.

Se calculó la dosificación individual que lleva un bloque en cuanto a cemento, agua y arena; mediante un diseño experimental se determinó las cantidades de especímenes a fabricar entre bloques y placas para la evaluación de conductividad térmica.

Para la preparación de los materiales se llevó a cabo un proceso de trituración y secado al estiércol y de secado a la fibra de coco, luego se procedió con la fabricación de los bloques y placas bajo las normas antes mencionadas.

Los resultados que se obtuvieron fueron la reducción de un 50% del coeficiente de conductividad térmica al ser reemplazado el estiércol en un 10% con 1,5% de fibra de coco con respecto a una placa control y en cuanto a la fibra de coco con porcentajes de 0,5, 1 y 1,5% dieron resultados de resistencia a la compresión superiores al bloque de control (bloque que no contiene ningún material distinto a su composición natural).

Cabe destacar que los bloques con porcentajes de fibra de coco hasta un 1,5% y estiércol 3% con fibra de coco 1,5% cumplen con los requisitos de resistencia a la compresión establecidos en la norma ASTM C129-17.

**Palabras claves:** estiércol bovino, mesocarpio del coco, bloques de mampostería, resistencia a la compresión y conductividad térmica.

## **ABSTRACT**

This research paper carried out thermal conductivity measurement tests in accordance with ASTM C 177 (2013). Blocks were composed of mortar, bovine manure and coconut fiber where the bovine manure was adjusted by a maximum of 10% and 1,5% coconut fiber of the total volume of sand used in the block. Subsequently, compression resistance tests were performed and the percentage of moisture absorption and density was evaluated under ASTM C140.

First of all, the individual amounts that make up a block in terms of cement, water and sand were calculated. An experimental design determined the quantities of specimens to be manufactured between blocks and plates for thermal conductivity assessment.

For the preparation of the materials, a process of crushing and drying the manure as well as drying to the coconut fiber was carried out. Then the manufacture of the blocks and plates under the above-mentioned standards was completed.

The results obtained were that manure reduced the coefficient of thermal conductivity by 50% when replaced by 10% and 1,5% coconut fiber with respect to a control plate. In terms of coconut fiber with percentages of 0,5; 1 and 1,5%, they gave greater compression resistance results than a control block (block containing no material other than its natural composition).

It is worth noting the blocks with percentages of coconut fiber 0,5%, coconut fiber 1%, coconut fiber 1,5% and bovine manure 3% with coconut fiber 1,5% meet the compression resistance requirements set out in ASTM C129-17.

**Key words:** bovine manure, coconut mesocarp, masonry blocks, resistance to compression and thermal.



## 1. INTRODUCCIÓN

La sociedad se ha visto en la necesidad de buscar distintas alternativas para enfrentar uno de los desafíos ambientales más impactantes a nivel global, como lo es el cambio climático (Li et al., 2018). Uno de los factores necesarios para contribuir en esa búsqueda de alternativas, es la implementación de materiales de aislamiento al momento de construir edificios, viviendas o recintos; Protege la construcción contra escapes de calor para mitigar la carga térmica (Asim et al., 2020). La mezcla de un material de aislamiento con un material de construcción es uno de los métodos más conocidos para mejorar las propiedades de aislamiento térmico. Esta técnica ha sido implementada para la creación de concreto con agregados de fibras vegetales (Belkharchouche y Chaker, 2016). Hoy en día el concepto de construcción ecológica está tomando mucha importancia, ya que se utilizan materiales ecológicos para la construcción, y, por consiguiente, reduce la demanda energética. La energía que se requiere para calentar o mantener un edificio a temperatura confort depende en gran medida a las propiedades térmicas y físicas de los materiales de construcción (Mathew, Nadir y Arif, 2019).

Varios investigadores que han trabajado en las propiedades mecánicas de las fibras naturales utilizan porcentajes muy bajos (1–2%) de refuerzo de fibras naturales. Se busca una compensación complicada entre la mejora del aislamiento térmico y la resistencia a la compresión de las muestras de concretos reforzadas con varias fibras naturales (Asim et al., 2020).

El presente estudio se centra en la búsqueda de crear bloques de concreto vibro compactados, reemplazando cierto porcentaje de arena por la adición de distintas proporciones de fibra natural mesocarpio del coco (fibra de coco) y de un residuo orgánico como lo es el estiércol bovino. Estos dos materiales tanto el fibroso como el residuo

orgánico son utilizados como combustibles, fertilizante y material de aislamiento; Sin embargo, una pequeña cantidad de estos desechos son capaces de aportar una gran acumulación de microorganismos. Estos desechos regularmente se dejan en descomposición natural con el suelo o se queman generando material particulado en el aire y contaminación del agua. Para mitigar estos problemas se buscó un uso para estos dos residuos orgánicos como alternativa a la arena en la producción de bloques de concreto bajo el criterio de las normas ASTM C 140 y ASTM C 177. Se investigaron los efectos de estos dos residuos orgánicos en la conductividad térmica, resistencia a la compresión y absorción de agua por medio de técnicas de análisis FTIR y SEM. También se realizaron ensayos de resistencia a la compresión y conductividad térmica bajo el criterio de las normas ASTM C 140 y ASTM C 177 para los bloques vibro compactados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Estudiar el efecto causado por el mesocarpio del coco y el estiércol bovino en la conductividad térmica y resistencia a la compresión de bloques en la mampostería no estructural.

### **2.2. Objetivos específicos**

**2.2.1.** Fabricar bloques vibro compactados y probetas con y sin agregados de fibra de coco y estiércol bovino bajo la norma ASTM C 140 y ASTM C 177 respectivamente.

**2.2.2.** Realizar ensayos de compresión a los bloques vibro compactados y ensayos de conductividad térmica a las probetas con y sin agregados de fibra de coco y estiércol bovino bajo la norma ASTM C 140 y ASTM C 177 respectivamente.

**2.2.3.** Caracterizar el estiércol de ganado bovino y el mesocarpio del coco mediante las técnicas de FTIR, DRX, SEM y análisis próximo y elemental para determinar porcentajes de su composición en cuanto a la humedad residual, cenizas, materia volátil, carbono, azufre y otros componentes.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La conductividad térmica (valor  $k$ ) es propiedad de un material perteneciente a la conducción de calor. Para medir la transferencia de calor existen tres mecanismos fundamentales, conducción, convección y radiación. La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes, menos energéticas, como resultado de la interacción entre ellas. La convección es el método de transferencia de calor entre una superficie sólida, un fluido o gas adyacente que está en movimiento, y comprende los efectos combinados de la conducción y del movimiento del fluido. La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas, como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas (Çengel y Ghajar, 2011).

La cantidad de flujo de calor por unidad de área sobre una superficie se establece por medio de la aplicación de la ley de Fourier para determinar la conductividad térmica como se muestra en la ecuación 1, 2 y 3. Sus unidades en el sistema internacional están dadas en  $\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$  (Incropera, De Witt, 1999).

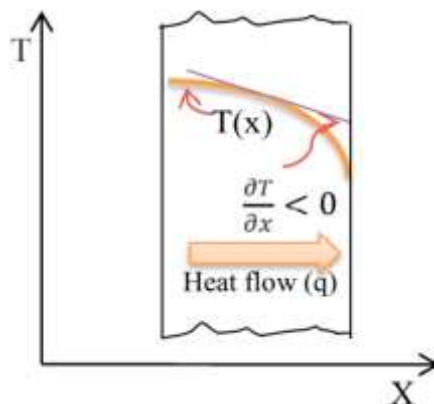
$$q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (1)$$

Despejando el valor de  $k$ :

$$k = \frac{q\Delta X}{A\Delta T} \quad (2)$$

Por ley de Joule ( $q = VI$ ) entonces:

$$k = \frac{VI\Delta X}{A\Delta T} \quad (3)$$



**Figura 1** Transferencia de calor unidimensional por conducción.

**Fuente:** (Asadi, Shafigh, Abu Hassan y Mahyuddin, 2018)

Donde:

$A$  = Área de transferencia de calor ( $m^2$ )

$q$  = Flujo de calor ( $Wm^{-2}$ )

$k$  = Conductividad térmica ( $W m^{-1} K^{-1}$ )

$\Delta T$  = Diferencial de temperatura (K)

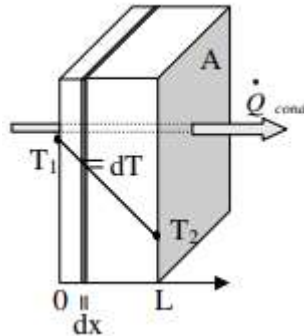
$\Delta x$  = Espesor del material (m)

$V$  = Voltaje en voltios (V)

$I$  = Intensidad de la corriente eléctrica en amperios (A)

La ley de Fourier de la conducción de calor, indica que la razón de conducción del calor en una dirección es proporcional al gradiente de temperatura en esa dirección. El calor es conducido en la dirección de la temperatura decreciente y el gradiente de temperatura se vuelve negativo cuando esta última decrece al crecer  $x$ . El signo negativo de la ecuación (1) garantiza que la transferencia de calor en la dirección  $x$  positiva sea una cantidad

positiva. El área  $A$  de transferencia de calor siempre es normal o perpendicular a la dirección de esa transferencia como se ilustra en la figura 2 (Çengel y Ghajar, 2011).



**Figura 2** Análisis de la conducción del calor,  $A$  representa el área perpendicular a la dirección de transferencia de calor.

Fuente: (Çengel, et al 2011)

### 3.2. AISLANTE TÉRMICO

El aislante térmico está compuesto por un material que se caracteriza por una alta resistencia térmica (Al-Homoud, 2005).

El aislamiento es utilizado como técnica simple en los edificios, pero contiene una alta eficiencia energética que se puede aplicar a los sectores residenciales, comerciales e industriales (Xu et al 2005).

Todos los materiales muestran oposición al flujo de calor. Aquellos que tienen una resistencia considerablemente alta, teniendo en cuenta, el espesor del material y el área a transferir calor, presentan una o varias barreras que impiden el paso del calor para igualar las temperaturas, reciben el nombre de aislante térmico específico (ASTM C177-19).

### **3.3. CONDUCTOR TÉRMICO**

Un conductor térmico es un material que se identifica por su baja resistencia al flujo de calor, fenómeno conocido como la conducción térmica, el cual se realiza por la colisión de partículas. La eficiencia de transferir calor a través de la conducción en sólidos es limitada(A. Faghri et al 2012).

### **3.4. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA**

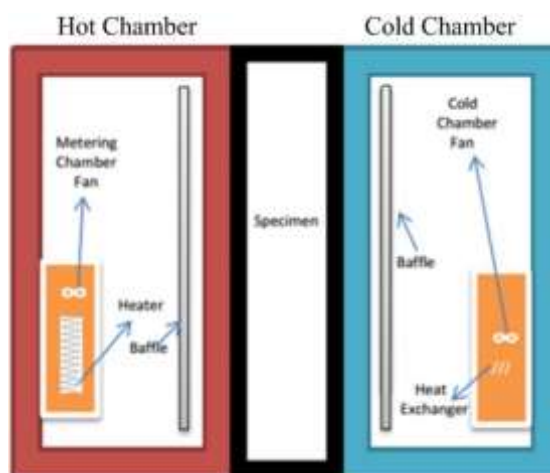
El estado estacionario y la transferencia de calor transitoria se consideran diferentes condiciones de transferencia de calor entre los materiales. El estado estacionario es una transferencia de calor constante, por lo que el flujo de calor o la temperatura no dependen del tiempo(Asadi et al., 2018).

El método estacionario se utiliza comúnmente para materiales homogéneos. Sin embargo, e método transitorio se utiliza más en materiales heterogéneos con contenido de humedad (Gandage, Rao, Sivakumar, & Vasan, 2013).

Existen dispositivos elaborados de materiales conductores térmicos, los cuales proporcionan la potencia (flujo de calor por unidad de tiempo) para la medición de la muestra, entre estos dispositivos están, la placa caliente o resistencia térmica. Para controlar la transferencia de calor de las muestras en el ensayo de conductividad térmica hacia el medio circundante, se utilizan guardas o placas frías metálicas, las cuales protegen a los sensores de agentes externos como el efecto fotoluminiscente previniendo una alteración en las mediciones (ASTM C177-19).

### 3.4.1. Método de cajas de estado estacionario

El método de cajas es un método de estado estacionario el cual determina la conductividad térmica del concreto con base en la evolución de energía del sistema. Esta técnica ha sido desarrollada en el laboratorio de estudios térmicos y solares de la Universidad Claude Bernard-Lyon I en Francia (Belkharchouche & Chaker, 2016). La muestra a estudiar se encuentra entre el medio de dos cámaras: la cámara de medición, la cual se usa para simular el ambiente interior (lado caliente) y la cámara climática se utiliza para simular el ambiente exterior (lado frío). Los sistemas de calefacción y de refrigeración se utilizan en la cámara de medición y la cámara climática, respectivamente, para establecer la diferencia de temperatura (Lu & Memari, 2018). Un esquema del método de cajas de estado estacionario se ilustra en la figura 3.



**Figura 3** Esquema del método de la caja.

**Fuentes:** (Asadi, et al 2018)

### 3.4.2. Método de placa caliente en estado estable

El método de placa caliente protegida es una técnica útil al momento de evaluar la conductividad térmica de los materiales de aislamiento. Las muestras de pruebas se fijan entre placas frías y calientes. El flujo de calor que transita sobre las muestras de pruebas



será constante. La conductividad térmica se establece a través del flujo de calor y la diferencia en la temperatura media entre las superficies de la muestra (Asadi et al., 2018). En el modo de medición de doble cara, las muestras deben ser homogéneas y deben estar protegidas por dos guardas metálicas o placas frías para que no haya alteración en los resultados (ASTM C177-19). En la figura 4 se ilustra un esquema del método de placa caliente en estado estable.

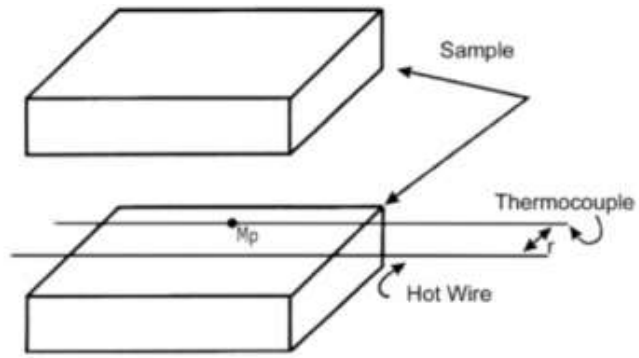


**Figura 4** Esquema del método de placa caliente en estado estable.

**Fuentes:** (Asadi, et al 2018)

### **3.4.3. Método de alambre caliente transitorio**

El método de alambre caliente es un método transitorio, el cual se enfoca en la medición de la temperatura a una distancia determinada de un cable caliente, que se comporta como fuente de calor lineal dentro de la muestra. A demás, el método de sonda de alambre caliente utiliza el mismo principio de la técnica del método de alambre caliente transitorio y siendo una versión modificada (Gandage & Sivakumar, 2013). En la figura 5 se muestra un bosquejo del método de alambre caliente transitorio.



**Figura 5** Esquema del método de alambre caliente transitorio.

**Fuentes:** (Asadi, et al 2018)

#### 3.4.4. Método de fuente de plano transitorio

El método de fuente de plano transitorio, mide la conductividad térmica mediante una entrada de potencia y la variación dependiente del tiempo tanto para el plano transitorio como para las fuentes de línea transitoria (Gandage & Sivakumar, 2013). Este método se utiliza para analizar las propiedades de transporte térmico de diferentes tipos de materiales innovadores de cambio de fase, con análisis de temperatura ambiente, destinados a evaluar el efecto de los aditivos y el relleno de alta conductividad térmica y las propiedades efectivas de la mezcla (Fabiani & Pisello, 2018). En la figura 6 se ilustra un esquema del método de fuente de plano transitorio.

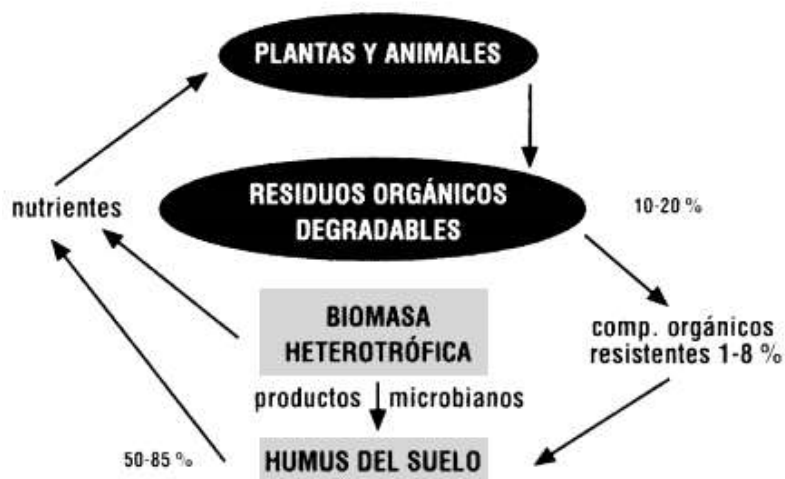


**Figura 6** Esquema del método de fuente de plano transitorio.

**Fuentes:** (Asadi et al., 2018)

### 3.5. RESIDUOS ORGÁNICOS

Los residuos orgánicos son desechos biodegradables de origen vegetal o animal, capaces de degradarse biológicamente al entrar en interacción con el ambiente o suelo, sirviendo como fuentes de vida nueva que aportan energía, renovación de materia orgánica y nutrientes (Navarro P, Gómez L, Moral H y Mataix B, 1995). En la figura 7 se muestra las fracciones para obtener los residuos orgánicos.



**Figura 7** Esquema de las fracciones de los residuos orgánicos.

**Fuentes:** (P, Gómez et al, 1995)

### 3.6. COCO

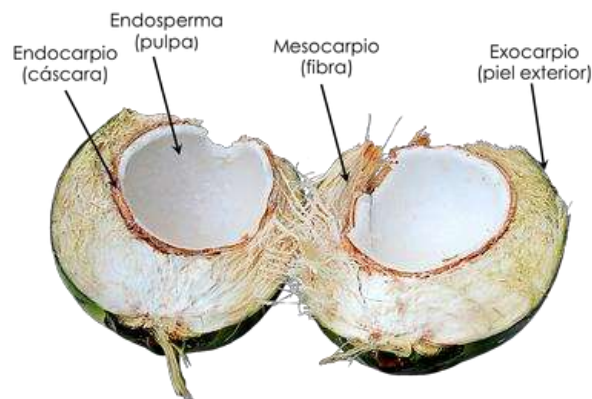
Es una fruta orgánica compuesta por tres partes, de 20 a 30 cm de diámetro, que pesa alrededor de 1,5 kg, con epicarpio brillante, mesocarpio fibroso de color castaño a rojizo y endocarpio o “nuez” que encierra una sola semilla. El endospermo está formado por una parte carnosa o albuminosa y un jugo lechoso dulce, denominados respectivamente como carne y agua de coco. El endospermo carnoso seco se utiliza para producir la copra, de la

cual se extrae el aceite de coco. Los frutos requieren de 9 a 10 meses para madurar (Quero, 1994).

El coco está constituido por una parte blanda interior que contiene en ella un líquido, también se encuentran presentes la estopa o mesocarpio, que se encuentra entre el exocarpio duro o cubierta externa, y el endocarpio o envoltura dura como se ilustra en la figura 8 (Quintero y González, 2006). La fibra de coco es extraída del mesocarpio de *Cocus nucifera* (nombre científico del fruto).

**Figura 8** Partes del coco.

**Fuentes:** (Gómez, M et al 2017)



### 3.7. FIBRAS NATURALES

Las fibras naturales provienen de monocultivos plantados para obtener alimentos, recetas medicinales a gran escala pero a su vez también generan residuos en abundancia y entre estos se encuentra el fruto coco (Moura., et al 2019).

Las fibras celulósicas son fibras naturales las cuales un material compuesto consisten en celulosa, hemicelulosa, lignina, cera y pectina como componentes principales y pequeñas cantidades de azúcares, proteínas de almidón en cantidades variables. Sus propiedades dependen de la composición química. Estos componentes le proporcionan a la fibra

resistencia, rigidez y estabilidad (Yan. L., et al 2016)

### **3.8. FIBRAS DEL MESOCARPIO DEL COCO**

La fibra del coco es un residuo orgánico extraído de la palma de coco y se derivan del mesocarpio, presentan un mayor porcentaje de lignina, alrededor del 25% del volumen total del fruto coco (Moura, et al 2019). En la figura 9 se puede apreciar la fibra de coco. En los últimos años, las fibras de coco se han venido utilizando como refuerzo en materiales compuestos de cemento. La adhesión entre la matriz y el componente de refuerzo tiene una fuerte influencia en las características del material compuesto, lo que contribuye a una transferencia de la tensión adecuada entre las fibras y la matriz (Gómez, M. 2017).



**Figura 9** Imagen de la fibra de coco

**Fuente:** (Khan y Ali, 2018)

El mesocarpio del coco tiene dos clasificaciones, las cuales dependen de la madurez del fruto coco (maduro o biche). Si el endocarpio del coco se encuentra maduro, se encontrarán fibras de color marrón, fuertes y resistentes a la abrasión, su método de

procesamiento lo protege de la luz solar. Sin embargo, cuando la fibra se encuentra biche en un color marrón claro en el endocarpio, esta fibra es menos fuerte y más suave que la fibra madura. Por lo general se hilan para crear cuerdas y tejidos a partir de estas. La fibra de coco madura posee más lignina y menos celulosa con respecto a la fibra de algodón, pero es menos flexible. Por otro lado, cuando la fibra de coco esta biche, su contextura es lisa y siendo más flexible que la fibra madura. (Machado y Cabrera, 2018). La descomposición natural de la fibra del coco al interactuar con el ambiente, bajo condiciones húmedas y secas, tarda de 20 a 30 años (Machado y Cabrera, 2018).

### **3.9. ESTIÉRCOL**

Es el nombre con el que se denomina a los excrementos de animales que se utilizan para fertilizar los cultivos. En ocasiones el estiércol está constituido por más de un desecho orgánico el cual es aprovechado como abono para el crecimiento y nutrición en plantas.

El estiércol presenta diversos problemas con la parte ambiental; en el suelo, ocasionan un aporte excesivo de minerales, dentro de ellos metales pesados, acidifican del terreno y facilitan la transmisión de enfermedades; sobre las aguas superficiales y subterráneas originan eutrofización a causa del aporte de nitrógeno y fósforo, aumento de toxicidad por el aporte de iones amonio y nitratos, aumentan la demanda biológica o bioquímica de oxígeno y facilitan la transmisión de enfermedades, y sobre la atmósfera, emite olores y gases de efecto invernadero, principalmente el metano ( $\text{CH}_4$ ) que tiene un equivalente de 1792 millones de toneladas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) con un equivalente de 413 millones de toneladas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a nivel global (García, 2009).

### 3.10. DENSIDAD

La densidad se define como el cociente entre la masa de un material por cada unidad de volumen que ocupa el material. La densidad absoluta se denota por medio de la ecuación 4 (Serway y Jewett, 2008).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4)$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del estiércol.

$m$  = masa.

$v$  = volumen.

### 3.11. MORTERO

El mortero es un compuesto de conglomerantes inorgánicos, un material de relleno agregado fino o arena, agua y provisionalmente aditivos, que al endurecerse forman un material compacto, que presenta propiedades químico físicas y mecánicas semejantes a las del concreto y es pródigamente usado para unir piezas de mampostería en la construcción de muros, o para recubrirlos (Sánchez. D, 2001).

### 3.12. CEMENTO

El cemento es un conglomerante hidráulico o material inorgánico que tiene propiedades de adherencia y cohesión, esta particularidad permite unir fragmentos minerales entre sí para crear un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas. Esta definición

contiene materiales de cementación tales como las cales, los asfaltos y los alquitranes. Los cementos se clasifican por su composición en: Portland, siderúrgicos y puzolánicos (Sánchez. D, 2001).

### **3.13. AGREGADOS O ÁRIDOS**

Los agregados o áridos son materiales inertes de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento portland en presencia del agua crean una piedra artificial o mortero. Estos garantizan una adherencia suficiente con la pasta endurecida de cemento portland (Sánchez. D, 2001). El módulo de finura apropiado para la preparación de mortero o concreto no debe ser inferior a 2,3 ni superior al 3,1 (ASTM C33, 2016).

### **3.14. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS SEGÚN SU TAMAÑO**

La forma más generalizada de clasificar los agregados es según su tamaño de partícula, el cual varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros. Esta distribución de tamaño recibe el nombre de granulometría. Una clasificación más específica se ilustra en la tabla 1 donde se resaltan los nombres de las fracciones y su amplitud como agregados según su tamaño (Sánchez. D, 2001).



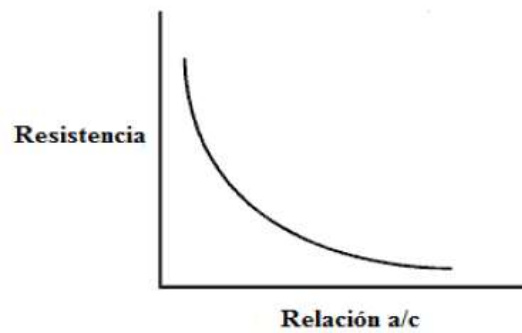
**Tabla 1.** Clasificación general del agregado según su tamaño.

Tamaño de las partículas en mm (pulg)	Denominación más corriente	Clasificación	Clasificación como agregado
Inferior a 0,002 entre 0,002 – 0,074 (No. 200)	Arcilla Limo	Fracción muy fina	No recomendable
Entre 0,074 – 4,76 (No. 200) – (No. 4)	Arena	Agregado fino	Material apto para producir concreto
Entre 4,76 – 19,1 (No. 4) – (3 / 4")	Gravilla	Agregado grueso	
Entre 19,1 – 50,8 (3 / 4") – (2")	Grava		
Entre 50,8 – 152,4 (2") – (6")	Piedra		
Superior a 152,4 (6")	Rajón, piedra bola		

**Fuente:** (Sánchez. D, 2001)

### 3.15. RESISTENCIA EN MORTEROS

La resistencia en los morteros se establece principalmente por la hidratación del cemento, la estructura hecha se endurece hasta convertirse en una piedra artificial. En la resistencia del mortero existe una correlación con la relación por peso del agua y el cemento denotada a/c. La resistencia del mortero es inversamente proporcional a la relación agua-cemento como se ilustra en la figura 10 (Borre y Flórez, 2016).



**Figura 10** Correlación entre la resistencia del mortero y la relación a/c.

**Fuente:** (Borre y Flórez, 2016).

En la tabla 2 muestra la clasificación de los morteros por formas de empleo según sea el valor de resistencia a compresión.

**Tabla 2.** Clasificación del mortero según su uso y resistencia a compresión.

Mortero de cemento y arena					
Tipo de mortero	Proporción en volumen		kg cemento por $m^3$ de mortero	Empleo preferente	Resistencia ( $kg/cm^2$ )
	Cemento	Arena			
Ricos	1	1	800	Bruñidos y revoques impermeables	160
	1	2	600	Enlucidos, revoque de zócalos	
				Bóvedas tabicadas, muros muy cargados,	

	1	3	450	enlucidos de pavimento, enfoscados	
Ordinarios	1	4	380	Bóvedas de escalera, tabiques de rasillas, muros cargados, fábricas de ladrillos y enfoscados	130
	1	5	600		98
Pobres	1	6	250	Fabricas cargadas	75
	1	8	200	Muro sin carga	90
	1	10	170	Fábrica de ladrillos y enfoscados	30

Fuente: (Borre y Flórez, 2016)

### 3.16. BLOQUE DE CONSTRUCCIÓN

Un bloque de cemento es uno de diversos productos prefabricados (la palabra “*prefabricado*” hace referencia al proceso en el que el bloque se forma y endurece, antes de ser llevado al lugar de trabajo) y comúnmente son elaborados con una o más cavidades huecas y en sus costados pueden ser lisos o con diseño.

Los bloques de concreto se elaboran con una mezcla relativamente seca de cemento, agregados, agua y, en algunos casos, aditivos. El material se moldea, compacta y cura en condiciones controladas, que garantizan la obtención de las propiedades buscadas tales como densidad y resistencia altas, baja absorción y uniformidad.

Los bloques de concreto deben poseer unas propiedades y características físicas, en lo referente a los requisitos dimensionales, a las tolerancias de fabricación, a la resistencia, a la absorción, al contenido de humedad, etc., que están establecidas por la norma ICONTEC 247 “Bloques huecos de hormigón (concreto) para muros” y por la norma ICONTEC 249 “Dimensiones modulares de bloques huecos de hormigón (concreto)”; estas propiedades son tratadas con mayor profundidad en la Nota Técnica “Características de los bloques de concreto” publicada por el Instituto Colombiano de Productores de Cemento. (ICPC)

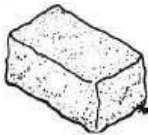

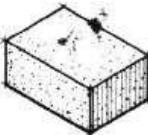
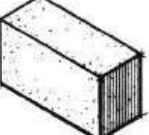
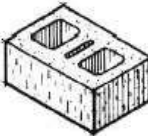
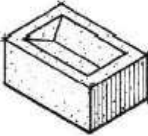
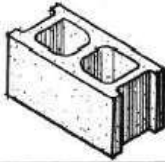
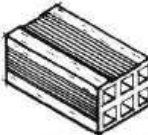
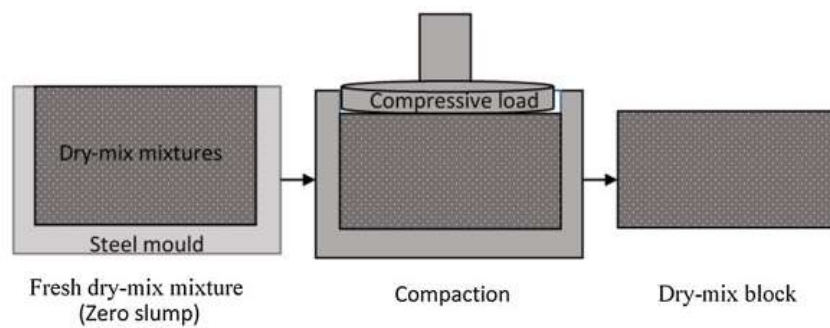
Unidades	Macizas				
	De perforación vertical				
	De perforación horizontal				
Material		Piedra	Arcilla cocida	Suelo-cemento	Concreto

Figura 11 Tipos de bloques.

**Fuente:** (Sánchez. D, 2001)

### 3.17. BLOQUES VIBRO COMPACTADOS

Los bloques de hormigón vibro compactados son fabricados mediante tecnología de vibro compactación automatizada, la cual remueve casi por completo las partículas de aire e implica un alto grado de compactación. En este método, la porosidad total de los bloques de concreto se reduce al máximo pero, en consecuencia, también se disminuye la absorción de agua (Girskas, G y Skripki, G. 2017). Las mezclas de mortero seco se trabajan en moldes de acero para el proceso de vibro compactación, y se manejan con un flujo mínimo de mortero mayor al 80% con el fin de tener una alta trabajabilidad, buena compactación y un fácil desmoldeo (Yang, Sun, y Chai, 2019). En la figura 12 se muestra un diagrama esquemático del método de vibro compactación.



**Figura 12** Diagrama esquemático del método de vibro compactación.

**Fuentes:** (Yang et al, 2019)

Bajo la norma ASTM C129 un bloque para mampostería no estructural es aquel que cumple con los valores de resistencia a la compresión ilustrados en la tabla 3.

**Tabla 3.** Requisito de resistencia a la compresión de bloques de mampostería no estructural

Unidades de bloques	Valores mínimos de resistencia a la compresión de los bloques a los 28 días evaluados sobre el área neta promedio en MPa
Promedio de 3 unidades	4,14
Unidad individual	3,45

**Fuente:** (ASTM C129-17)

### **3.18. ENSAYO A COMPRESIÓN PARA BLOQUES VIBRO COMPACTADOS**

El ensayo a compresión en bloques vibro compactados se puede realizar bajo la norma ASTM C140-19. Este ensayo consiste en someter una muestra o bloque a una carga axial a compresión hasta que alcance la falla. El criterio de falla se toma cuando la muestra llega a su esfuerzo máximo (ASTM C140-19).

### **3.19. ESPECTROSCOPIA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)**

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) es una técnica muy eficaz para el análisis químico de materiales biológicos. Es considerada como un método rápido, económico y no invasivo para obtener las características químicas de una muestra biológica. Permite identificar los principales grupos funcionales y enlaces químicos, proporcionando así información acerca de los compuestos bioquímicos presentes en la muestra (Durak & Depciuch, 2019).

### **3.20. DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)**

La difracción de rayos x es una técnica de análisis químico que se utiliza para identificar compuestos y minerales. También se puede utilizar para identificar la presencia o ausencia de arcilla. En este método de análisis, los rayos X son dispersados por átomos en un patrón que indica el espaciado reticular de los elementos presentes en el material que se analiza. Este método proporciona una información cualitativa de los elementos y compuestos presentes en la sustancia analizada (Bahoria, Parbat, & Nagarnaik, 2018).

### **3.21. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)**

La microscopia electrónica de barrido (SEM) es una técnica de análisis superficial que permite realizar estudios de morfología con la identificación de alta resolución de elementos y compuestos presentes en secciones transversales 2D preparadas de muestras agregadas (Bahoria et al., 2018).

## **ESTADO DEL ARTE**

M. Gómez et al. (2017) Investigaron el comportamiento térmico de un mortero con adiciones de fibra de coco en porcentajes de peso de 5 a 15 mediante la adaptación del método de prueba de placa caliente regida por la norma ASTM C177 para determinar la conductividad térmica de cada mezcla, el calor específico de un sólido por el método de las mezclas y el barrido diferencial de calorimetría (DSC) y estudiar el efecto de estas adiciones en las propiedades físico-mecánicas del mortero. La relación del mortero-cemento fue 1:3 y agua/cemento de 0,9, para la conductividad térmica se prepararon especímenes de 2x3x30 cm, y para el calor específico cubos de morteros de 5x5x5 cm,

ensayados en temperatura ambiente de 23°C y para el DSC se tuvo que pulverizar la fibra y dejar fraguar las muestras en moldes de 4 mm de diámetro para que tuvieran mayor contacto con las capsulas de aluminios que fueron selladas durante el ensayo, este se realizó en un rango de temperatura de -10°C a 200°C. Teniendo los mejores resultados para la muestra del 15% de adición, con una conductividad térmica de  $0,27 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$  mucho menor que la del vidrio  $0,81 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$  y que del mortero de cemento  $1,4 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ . Los productos de cemento mezclado con fibra de coco produjeron menor densidad que el de fibra del coco. Las mezclas de productos de fibrocemento que contiene hasta 15% de fibras naturales en peso de aglutinante dado las propiedades físicas y mecánicas aceptables. Además, la conductividad térmica de las láminas de cemento de fibra natural era 60% menor que la de la muestra de control.

(Sathiparan y Zoysa, 2018) estudiaron por medio de un análisis la viabilidad del uso de residuos agrícolas como cáscara de arroz, aserrín, cáscara de maní, paja de arroz y la cáscara de coco como remplazo parcial de la arena en la fabricación de bloque de cemento. Estos experimentos se llevaron a cabo para determinar las propiedades físicas, resistencia a la compresión, absorción y durabilidad del bloque. Los resultados de las pruebas ilustraron que los bloques de cemento mezclados con residuos agrícolas cumplieron con los requisitos de resistencia a la compresión según el estándar de la Norma ASTM C129.

Mati-Baouche et al (2014) realizaron caracterizaciones mecánicas, térmicas y acústicas de un compuesto bio-aislante a base de partículas de tallos de girasol y quitosano. En el diseño experimental se buscaba encontrar la granulometría de las partículas, la relación



entre tallos de girasol, propiedades térmicas, mecánicas y acústicas de la compactación de estas. Al realizar los análisis, se encontraron muestras con una conductividad térmica de  $0,056 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , una tensión máxima de 2 MPa y un coeficiente de absorción acústico de 0,2; estos resultados fueron obtenidos con una proporción de 4,3 % de quitosano y un tamaño de grano de 3 mm para las partículas de girasol.

L. Flórez y A. Borre (2016) realizaron mediciones de conductividad térmica de bloques fabricados con mortero y olote de maíz donde se modificó en un 10 y 20 % el volumen de arena por olote de maíz. Adicionalmente se realizaron ensayos de resistencia a compresión acorde a la norma NTC 4076 (2001) y se evaluó el porcentaje de absorción de agua y densidad. Los resultados ilustran que la adición de olote de maíz disminuyó los coeficientes de conductividad hasta un 30%, sin embargo, la resistencia a compresión de los bloques disminuyó en comparación a uno sin fibra.

Ashour et al (2015) estudiaron la conductividad térmica de ladrillos de tierra reforzados con desechos agrícolas, en esta investigación se utilizaron para el refuerzo dos tipos de fibras diferentes, el trigo y la paja de cebada. El tamaño promedio de la paja fue de 4 cm aproximadamente. Entre los resultados de esta investigación se encontró que la conductividad térmica medida de los ladrillos de tierra reforzado con la paja del trigo fueron  $0,961$ ,  $0,596$  y  $0,310 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$  para un contenido de fibras de 0 %, 1 % y 3 %, respectivamente, mientras que la conductividad térmica para los ladrillos reforzados con la fibra de paja de cebada son  $0,961$ ,  $0,620$  y  $0,314 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$  con contenidos de fibra de 0 %, 1 % y 3 %, respectivamente. La adición de fibras naturales a los ladrillos también influyó en la densidad de estos, representando una disminución entre 9,8 % a 22 % en comparación con ladrillos de arcilla no fibrosos. La adición de fibra mejora positivamente

tanto, propiedades térmicas como estáticas.

(Zhang. W., et al 2015) Hicieron mediciones de conductividad térmica al hormigón mediante el uso de un aparato de placa caliente guardado y de un modelo teórico, estudiando más a fondo la resistencia interfacial entre el mortero de cemento y el agregado grueso de piedra caliza o granito. Se obtuvieron resultados para la conductividad térmica del mortero de cemento de  $1,35 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ,  $1,42 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ,  $1,48 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$  y  $1,65 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$  para la agregación de fracciones de volumen de arena de 0,3, 0,4, 0,5 y 0,6. También se obtuvieron valores de conductividad térmica para los gruesos de  $1,43 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ,  $1,47 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ,  $1,54 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ,  $1,76 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$  y  $1,66 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$  para la agregación de fracciones de agregado grueso de 0; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5.

Con la información bibliográfica recopilada se ha notado que muchos investigadores se han tomado la tarea de agregar fibras naturales en mortero o en concreto para mirar los efectos térmicos o propiedades mecánicas que estos materiales fibrosos aportan en la estructura de un bloque de concreto. Por eso en esta investigación se buscó analizar los efectos de conductividad térmica, resistencia a la compresión y capacidad de absorción de agua que tienen los bloques de concreto con dos agregados orgánicos (la fibra del coco y el estiércol bovino) como agentes remplazantes en distintas proporciones de cierto porcentaje de arena. Todos esos análisis bajo el criterio de las normas ASTM descritas en la teoría. Por otra parte, mirar las características morfológicas internas de la matriz concreto-fibra-residuo por medio de la técnica SEM y resaltar que compuestos o elementos están constituidos en dicha muestra. También mirar por medio de la técnica de análisis FTIR los grupos funcionales y enlaces químicos presente en las muestras,

proporcionando de esta manera información acerca de los compuestos bioquímicos observados.

#### **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

En el siguiente trabajo se utilizaron dos materiales orgánicos para la realización de bloques vibro compactados y las probetas para los ensayos de conductividad térmica.

Estos materiales fueron el mesocarpio del coco (fibra de coco) y el estiércol bovino en estado sólido (seco), a los cuales se les aplicó una serie de tratamientos (exposición al sol del estiércol para minimizar la humedad y corte a la fibra de coco) para luego ser utilizados tanto en los bloques como en las probetas para los ensayos de conductividad térmica. Después se evaluó el efecto dado por la adición de estos materiales reemplazando en varios porcentajes estipulados de arena en la resistencia a la compresión de los bloques vibro compactados bajo la norma ASTM C140 y la conductividad térmica bajo la norma ASTM C177 - 19.

##### **4.1. OBTENCIÓN DEL MESOCARPIO DEL COCO (FIBRA DE COCO).**

El coco está constituido por varias partes de las cuales se utilizó el mesocarpio, éste se obtuvo de la empresa Sustitutos Ecológicos ubicada en la vereda Mateo Gómez perteneciente al municipio de Cereté, Córdoba. Esta empresa facilitó la fibra de coco ya extraída del mismo como se muestra en la figura 13. Se empacó en bolsas plásticas para minimizar la humedad y el contacto con otros agentes. Esta fibra vino en longitudes entre los 150 y los 250 mm.



**Figura 13** Mesocarpio del coco (Fibra).

**Fuente:** Autores, 2019

#### **4.2. OBTENCIÓN DEL ESTIÉRCOL BOVINO**

El estiércol se recolectó manualmente de fincas situadas en el departamento de Córdoba, fue empacado en costales como lo muestra la figura 14 y posteriormente almacenado en un cuarto disminuyendo el contacto con el agua.



**Figura 14** Estiércol recolectado y empacado.

**Fuente:** Autores, 2019.

### 4.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LOS MATERIALES.

#### 4.3.1. Análisis próximo de la fibra de coco y del estiércol bovino.

El análisis próximo se realizó en el laboratorio de carbones de la Universidad nacional de Colombia, sede Medellín. Las muestras de fibra de coco y estiércol bovino se prepararon de acuerdo con los lineamientos que el laboratorio exigió para la realización de este ensayo. Este análisis permitió conocer información acerca de humedad residual, material volátil, cenizas, azufre total, carbono fijo y el poder calorífico que contienen ambas materias orgánicas. En la tabla 4 se muestra la norma y el método utilizado para el análisis.

**Tabla 4.** Información del análisis próximo de la fibra de coco.

Ensayo	Norma	Método
Humedad residual	ASTM D3173 2011	Termogravimétrico 107 °C ± 3 °C
Cenizas	ASTM D3174 2012	Termogravimétrico 750 °C ± 10 °C
Materia volátil	ISO 562 2010	Termogravimétrico 900 °C ± 5 °C
Carbono fijo	ASTM D3172 2013	Aritmético
Azufre total	ASTM D4239 Método A 2014	Combustión a alta temperatura (1350 °C) y

		detección infrarroja
Poder calorífico superior	ASTM D5865 2013	Termodinámico adiabático

**Fuente:** Laboratorio de carbones de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, 2019.

#### **4.3.2. Análisis elemental de la fibra de coco y estiércol bovino.**

El análisis elemental de la fibra de coco se realizó en un equipo analizador elemental marca Leco® modelo Truspec del laboratorio de química de la Universidad de Antioquia. En este caso se reportaron las masas expresadas en porcentajes de nitrógeno, carbono, hidrógeno, azufre y oxígeno. Los valores reportados corresponden al promedio de tres ensayos. Para el caso del estiércol esta se obtuvo de la teoría relacionada.

#### **4.3.3. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).**

La técnica FTIR se realizó en el laboratorio de desarrollo de los materiales (DAM) de la Universidad Pontificia Bolivariana sede Montería. Las muestras de estiércol bovino y fibra de coco se enviaron en forma de polvo de 4 gramos y tamizadas bajo los parámetros estipulados por el laboratorio y posteriormente fueron analizadas en un espectrofotómetro infrarrojo por transformada de Fourier Itracer-100, permitiendo denotar las características químicas de los materiales orgánicos.

#### **4.3.4. Difracción de rayos X (DRX).**

El análisis de DRX se realizó en el laboratorio de grupo de catalizadores y adsorbentes de la universidad de Antioquia – Medellín. La muestra de estiércol bovino se envió en forma de polvo de 2 a 3 gramos y tamizada siguiendo los lineamientos dados por el laboratorio. Después, se procedió hacer los análisis en un difractómetro de rayos X (DRX) XPert PANalytical Empyrean Serie II - Alpha1, Modelo 2012, este análisis permitió conocer los elementos presentes de los residuos orgánicos.

#### **4.3.5. Microscopia electrónica de barrido (SEM).**

La técnica de SEM se realizó en el laboratorio de centro de microscopia avanzada (CAM) de la universidad de Antioquia – Medellín. Las muestras de concreto se enviaron con un volumen de  $2\text{ cm}^3$  y bajo las condiciones requeridas por el laboratorio. Luego de tener listas las muestras preparadas, se hicieron los análisis en un microscopio electrónico de barrido (Termiónico): JEOL JMS-6490LV para así analizar la morfología superficial de la matriz de concreto y conocer los compuestos o grupos funcionales de los residuos orgánicos. n

#### **4.3.6. Densidad de la fibra de coco y del estiércol bovino.**

La fibra de coco fue expuesta al sol durante un día desde las 9:00 am hasta las 4:00 pm para garantizar que la humedad visible no estuviese presente a la hora de su uso ya que afectaría la muestra a la cual se le tomó su respectiva masa. Se observó que no hubiese otro tipo de partículas que pudieran alterar la materia orgánica. Para determinar la densidad de la fibra de coco se utilizó el principio de Arquímedes el cual se realizó en el laboratorio de fisicoquímica orgánica de la universidad de Córdoba sede Montería utilizando una balanza



de referencia Ohaus CP413® con resolución 0,0001 gramos donde se tomó una porción de fibra de coco como se muestra en la figura 15 y se obtuvo su masa. Luego esa misma porción de fibra de coco se sumergió en una probeta de 500 ml donde se vertió una cantidad de agua específica y se observó el volumen de agua desplazada como se muestra en la figura 16.



**Figura 15** Balanza de referencia Ohaus CP413® con resolución 0.0001 g y la fibra de coco.

**Fuente:** Autores, 2019



**Figura 16** Balanza de 500 ml con la fibra de coco sumergida.

**Fuente:** Autores, 2019.

El estiércol recolectado llegó en condiciones de humedad no deseadas, ya que para el proceso de trituración la máquina utilizada podría sufrir atascamientos. Entonces se procedió a dejar el estiércol expuesto al sol durante un par de días desde las 9:00 am hasta las 4:00 pm garantizando un día soleado mientras la humedad visible fuese eliminada como se muestra en la figura 17. Para ayudar al secado, manualmente se fueron partiendo en trozos más pequeños aquellos que estuviesen grandes y muy compactos; ya que de esa forma no alcanzarían a eliminar la humedad que tuviesen internamente.



**Figura 17** Estiércol expuesto al sol para el secado natural.

**Fuente:** Autores, 2019.

Luego el estiércol se trasladó a las instalaciones del laboratorio de energías renovables de la universidad Pontificia Bolivariana sede Montería, el proceso de trituración fue llevado a cabo en una trituradora de molino de martillos, modelo TP -24, número de serie 3458, de 3500 a 3600 rpm del motor y cuenta con una potencia nominal de 10HP (ver figura 18) y en su interior tiene un tamiz que permitió garantizar un tamaño de partícula menor a 2 mm.



**Figura 18** Máquina trituradora de molino de martillo.

**Fuente:** Autores, 2019.

En la figura 19 se puede observar el estiércol antes y después del triturado. Se utilizó un tamaño de partícula de máximo 2 mm, ya que al momento de realizar los bloques y las probetas se debe garantizar una buena compactación, un buen acabado y disminución de espacios entre los materiales utilizados



**Figura 19** Estiércol antes y después del triturado respectivamente.

**Fuente:** Autores, 2019.

Para determinar la densidad del estiércol se utilizó el método de densidad absoluta en el laboratorio de fisicoquímica orgánica de la universidad de Córdoba utilizando una balanza de referencia Ohaus CP413® con resolución 0.0001 gramos, una probeta de 50 ml y una muestra del estiércol. Se tomó la probeta y se llevó hasta la balanza para así conocer su masa, luego se le añadió estiércol hasta una cantidad específica obteniendo su volumen, con ese mismo volumen se volvió a llevar a la balanza conociendo la masa de la probeta más el estiércol, se hizo la diferencia de los dos resultados para saber la masa del estiércol utilizado (figura 20). Seguidamente se aplicó la ecuación (4).



**Figura 20** Balanza y probeta con estiércol.

**Fuente:** Autores, 2019.

#### **4.4. PREPARACIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS UTILIZADOS PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES Y PROBETAS.**

Antes de elaborar los bloques y probetas finales, se hizo una prueba para ver factores que podrían ser determinantes y no tenidos en cuenta en este trabajo. La fibra de coco fue cortada en longitudes de 50 mm ya que al ser agregada en la forma como se obtuvo no daba una buena homogenización dentro de la mezcla de mortero (ver figura 21). Al ser vaciada junto con la mezcla en la máquina vibro compactadora esta no era capaz de caer dentro del molde de forma conjunta produciendo un atascamiento de la máquina al momento de compactar la mezcla.



**Figura 21** Mezcla con fibra de coco sin ser recortada.

**Fuente:** Autores, 2019.

Seguidamente, se observó que la fibra de coco no se podía reemplazar en un 2% como se había estipulado primordialmente dado que la densidad de la arena es mayor a la de la fibra de coco, por lo que se decidió reemplazar un máximo de 1,5% debido a la cantidad de volumen que esta representaba impidiendo que se mezclara completamente. En el caso del estiércol se observó que al ser remplazados en un 15% los bloques no podían compactarse de

forma adecuada y que cuando se retiraba el molde de los bloques, estos perdían su forma y presentaban grietas. Entonces se trabajó con un máximo de 10%. En la figura 22 se observa como quedo el bloque de 15% de estiércol.



**Figura 22** Bloques con 15% de estiércol.

**Fuente:** Autores, 2019.

#### **4.5. ARENA Y CEMENTO**

La arena que se utilizó para la fabricación de los bloques vibro compactados y placas de conductividad térmica fue arena natural extraída del río Sinú, suministrada por la Asociación ASOMAN Sinú, con título minero ILS-16201X. Esta fue empleada por ser la más utilizada por las fábricas de bloques y construcciones en la ciudad de Montería (UPME 2014).

Se utilizó agua proveniente del acueducto de la ciudad de Montería y cemento Ultracem gris Tipo ART de uso estructural.

#### 4.6. ELABORACIÓN DE LOS BLOQUES VIBRO COMPACTADOS Y PROBETAS PARA ENSAYOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.

El método que se usó para determinar las cantidades de material usado para la preparación de  $1\text{ m}^3$  de mortero con una resistencia de  $72\text{ kg cm}^{-2}$  se relacionan en el anexo A1. Se realizaron 3 bloques sin materia orgánica los cuales fueron llamados bloques de control y dos replicas para los ensayos de conductividad térmica que se utilizaron como referencia para la comparación de los resultados obtenidos. La relación agua/cemento usada fue de 0,88 (ver anexo A1).

Para la elaboración de los bloques y probetas se hizo una tabla en la cual se detalló el número de réplicas que se hicieron por cada ensayo. Ver tabla 5.

**Tabla 5.** Porcentaje de estiércol y fibra de coco para reemplazarla por arena (48 probetas para resistencia a la compresión y 32 para conductividad térmica).

BLOQUES	E%	F%	RC	CT
CONTROL	0	0	3	2
M E0-F0,5	0	0,5	3	2
M E0-F1,0	0	1	3	2
M E0-F1,5	0	1,5	3	2
M E3-F0	3	0	3	2
M E6-F0	6	0	3	2
M E10-F0	10	0	3	2
M E3-F0,5	3	0,5	3	2
M E3-F1,0	3	1	3	2
M E3-F1,5	4	1,5	3	2
M E6-F0,5	6	0,5	3	2
M E6-F1,0	6	1	3	2

<b>M E6-F1,5</b>	<b>6</b>	<b>1,5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>M E10-F0,5</b>	<b>10</b>	<b>0,5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>M E10-F1,0</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>M E10-F1,5</b>	<b>10</b>	<b>1,5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>

**Fuente:** Autores, 2019.

E: estiércol.

F: fibra de coco

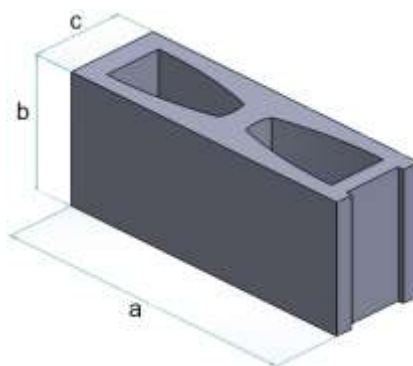
M E-F: estiércol y fibra de coco.

RC: resistencia a la compresión.

CT: conductividad térmica.

Partiendo de 1  $m^3$  de mortero se hizo el cálculo de la cantidad de material para 0,006  $m^3$  (este valor se obtuvo a partir de las medidas del bloque utilizado en el trabajo de grado), es decir el volumen del bloque mostrado en la figura 23. Ese valor se multiplicó por la cantidad de bloques que se fabricaron, en este caso 3 como lo estipula la norma ASTM C 140.





Medidas del bloque (mm)		
a	b	c
390	200	120

**Figura 23** Medida de los bloques vibro compactados.

**Fuente:** Autores, 2019.

Todos los materiales utilizados fueron respectivamente pesados para tener control de las mezclas. Para el cálculo de la masa fue utilizada una balanza electrónica con capacidad máxima de 30000 g y resolución de 0,001 g.

Se agregó arena y estiércol, utilizando una pala se revolvió la mezcla hasta observar que había una homogenización y luego se procedió a echar el cemento y después el agua (ver figura 24); cabe aclarar que la mezcla que se utiliza para los bloques vibro compactados se denomina seca pues no lleva mucha agua a comparación de los bloques hechos manualmente ya que al momento que se le aplique presión por la máquina tiende a salir el exceso de agua y se tiende a pegar la mezcla en las paredes del molde dando una forma no deseada a los bloques.



**Figura 24** Mezcla de estiércol, arena, cemento y agua.

**Fuente:** Autores, 2019.

Para mezclar la fibra del coco con el cemento y la arena, se tuvo que adicionar la fibra por partes, no se podía agregarla toda porque no era posible el proceso de mezclado de los materiales. Por último, se añadió agua hasta que se obtuvo la mezcla deseada. Ver figura 25.



**Figura 25** Mezcla de la fibra de coco, arena, cemento y agua.

**Fuente:** Autores, 2019.

Según la norma ASTM C 177-19 el espesor de la placa para medir el coeficiente de conductividad térmica debe ser de 25 mm. Con base en esa información las medidas de las probetas fueron de 300 x 300 x 25 mm. Por lo tanto, para conocer la conductividad térmica de cada bloque se elaboraron 2 placas con estas medidas a partir de la mezcla correspondiente a cada tratamiento. Para esto se utilizó madera tipo roble y triple para la base y se procedió al armado de las palcas como se muestran en la figura 26. Estas placas fueron lubricadas con aceite para facilitar la extracción de la probeta evitar su adherencia a la madera.



**Figura 26** Placa de madera usada para vaciar la mezcla utilizada en los ensayos de conductividad térmica.

**Fuente:** Autores, 2019.

Estas probetas fueron realizadas con los bloques vibro compactados, ya que se tuvo en cuenta la cantidad que estas requerían y se adicionó en cada mezcla; garantizando que la dosificación de materia orgánica y los otros agregados fuese la misma que en las placas y no habiendo variación entre ellas. El vaciado se hizo manualmente en cada placa de madera utilizando un palaustre para dar unos pequeños golpes en la parte superior de cada placa con el fin de que la mezcla ocupe todos los espacios y evitando al máximo concentraciones de aire internamente.

#### **4.7. ENSAYOS REALIZADOS A LOS BLOQUES Y PROBETAS PARA ENSAYOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.**

##### **4.7.1. Estudio de conductividad térmica a las probetas.**

Los ensayos de conductividad térmica se hicieron a las probetas bajo la norma ASTM C177-19 en el laboratorio de materiales y procesos de la Universidad de Córdoba, utilizando un dispositivo que permite medir el flujo de calor en estado estacionario para obtener el coeficiente de conductividad térmica como se muestra en la figura 27.



**Figura 27** Dispositivo para evaluar el coeficiente de conductividad térmica.

**Fuente:** Autores, 2019.

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo del coeficiente de conductividad térmica fueron las (2) y (3) relacionadas en la teoría. Para obtener el diferencial de temperatura se debe sacar un promedio entre las dos caras de las muestras evaluadas, teniendo en cuenta que el flujo de calor se divide en dos partes iguales en cada una de las probetas (Borré y Flórez, 2016).

Para la calibración del dispositivo se usaron dos placas de poliestireno expandido como se muestra en la figura 28, estas placas fueron expuestas al calor emitido por una resistencia que

se colocó en medio de ellas. En la parte tanto interna como externa de las placas se colocaron unas termocuplas las cuales por medio de un medidor de temperatura multicanal digital presentaba la lectura de como aumentaba la temperatura percibida por las termocuplas alcanzando un máximo de 75°C en la parte interna.



**Figura 28** Montaje del poliestireno expandido para la calibración del dispositivo de medición de conductividad térmica.

**Fuente:** Autores, 2019.

Se calculó el coeficiente de conductividad térmica del poliestireno expandido y se procedió con la comparación del resultado obtenido con otras fuentes del mismo. Ver tabla 6.

**Tabla 6.** Valores obtenidos para la calibración del dispositivo.

<b>Material usado</b>	<b>Coeficiente de conductividad térmica (W.m-1. K-1)</b>	<b>Fuente</b>
Poliestireno expandido	0,040 ± 0,003	Autores, 2019
Poliestireno expandido	0,039 ± 0,002	Machado y Cabrera, 2018
Poliestireno expandido	0,037	ASTM C 177-19
Poliestireno expandido	0,041 ± 0,004	Borré y Flórez, 2016

**Fuente:** Tomado de Machado y Cabrera, 2018

Al comparar los datos obtenidos del ensayo con el poliestireno expandido con los de otras fuentes, se observó que están en un rango aceptable, por lo tanto, se procedió hacer el montaje de las probetas de conductividad térmica como se muestra en la figura 29.



**Figura 29** Montaje de las probetas para la medición de conductividad térmica.

**Fuente:** Autores, 2019.

#### **4.7.2. Ensayos de compresión a bloques vibro compactados.**

Los ensayos de compresión a los bloques vibro compactados se realizaron en el laboratorio de materiales y procesos de la universidad de Córdoba en la máquina universal de ensayos MTS Criterion modelo 45, con capacidad de carga de 300 kN (figura 30) y bajo la norma ASTM C 140. Esta norma describe el proceso para calcular las propiedades de un bloque relacionadas en la tabla 7.



**Figura 30** Máquina universal de ensayos MTS Criterion modelo 45.

**Fuente:** Autores, 2019.

**Tabla 7.** Propiedades analizadas bajo la norma ASTM C 140.

Propiedades		
Densidad seca	Absorción de agua	Resistencia a la compresión
$g/cm^2$	%	MPa

**Fuente:** Autores, 2019

La velocidad usada para los ensayos fue de  $0,03 \text{ mm s}^{-1}$ , la carga fue establecida mediante pruebas preliminares hasta llegar a la más aproximada establecida por la norma y se realizaron 3 ensayos por cada porcentaje para un total de 48 bloques. Cada bloque fue ensayado aleatoriamente y este fue retirado cuando la carga presentaba una fluctuación en el ensayo. En la figura 31 se observa el montaje del bloque.



**Figura 31** Montaje de los bloques en la maquina universal de ensayos.

**Fuente:** Autores, 2019.



## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LOS MATERIALES.

#### 5.1.1. Resultados del análisis próximo de los materiales.

Los resultados obtenidos en el análisis próximo realizado por el laboratorio de carbones de la Universidad nacional de Colombia, sede Medellín se relacionan en la tabla 8.

**Tabla 8.** Resultados del análisis próximo a la materia orgánica.

Propiedades						
Muestras	HR (%)	Cenizas (%)	MV (%)	Cf (%)	S (%)	PCI kJ/kg
Estiércol	11,78	31,71	44,76	11,75	0,26	11914
Fibra de coco	5,62	1,48	72,05	20,85	0,08	18966

**Fuente:** Autores, 2019.

Analizando los resultados de la tabla 8, se observa que la humedad residual del estiércol es el doble que la obtenida en la fibra de coco la cual está por debajo del 10%. Es posible que al aumentar la humedad en la materia orgánica, el poder calorífico disminuye dando lugar a un secado antes del proceso de combustión.

Seguidamente, se ve que el poder calorífico de la fibra de coco es un 59% mayor que el del estiércol, aprovechándose la cantidad de calor que puede entregar en la parte de biomásas. Así mismo, comparando los resultados de la ceniza la fibra de coco es mucho menor a la del estiércol siendo la fibra de coco mucho más eficiente que este, debido a que el porcentaje de

ceniza indica el residuo no combustible que queda después de darse el proceso de combustión (Quiceno y Mosquera, 2010).

Con respecto al material volátil, se observa que el estiércol tiene un 61% menor que la fibra de coco, deduciendo que este tiene mejores propiedades de encendido que el primero, es decir que la fibra de coco liberará más energía fácilmente en el proceso de combustión (Yaman & Sahann, 2000).

### 5.1.2. Resultados del análisis elemental de los materiales.

Los resultados del análisis elemental se relacionan en la tabla 9. La fibra es de origen vegetal, la cual se le retiro contenido de agua. El estiércol bovino es producto de la digestión animal, mezclado por heces y fibras vegetales entre otras materias, de ahí la diferencia del contenido de carbono (Yan. L., et al 2016).

**Tabla 9.** Resultados del análisis elemental a la materia orgánica.

<b>Muestras</b>	<b>Propiedades</b>		
	<b>C</b>	<b>H</b>	<b>N</b>
	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
<b>Estiércol</b>	28,2	6	2
<b>Fibra de coco</b>	52,7	4,3	0,22

**Fuente:** Autores, 2019.

Comparando los resultados obtenidos por (Ormaechea et al, 2018), se observó que los contenidos de carbono e hidrógeno son muy similares a la cascarilla de arroz, dando lugar a que estas brinden condiciones adecuadas para utilizarse como fuentes de energías.

También cabe resaltar el bajo contenido de nitrógeno que presentaron los dos materiales

orgánicos significando menos producción de NO<sub>x</sub> a la hora de ser usados como biocombustibles en hornos y calderas (Forero et al., 2012).

### 5.1.3. Análisis por microscopía óptica

Para este análisis se procedió a seleccionar una pequeña parte de la mezcla de los materiales orgánicos con el cemento y observar la adherencia que estas obtuvieron entre ellos.

Luego de seleccionadas fueron trasladadas al laboratorio de materiales y procesos de ingeniería mecánica de la Universidad de Córdoba, donde fueron observadas con el microscopio óptico Olympus® PME3B y se tomó las fotos como se muestran en las figuras 32 A y 32 B.



**Figura 32** A) Mezcla de fibra de coco con cemento y arena. Figura 32. B) Mezcla de fibra de coco, estiércol, arena y cemento

**Fuente:** Autores, 2019.

También se hizo la comparación entre la fibra de coco antes del mezclado ilustrado en la figura 33 A y después de haber sido adicionada a la mezcla de mortero, observándose la adherencia que este tuvo en la fibra como se muestra en la figura 33 B.

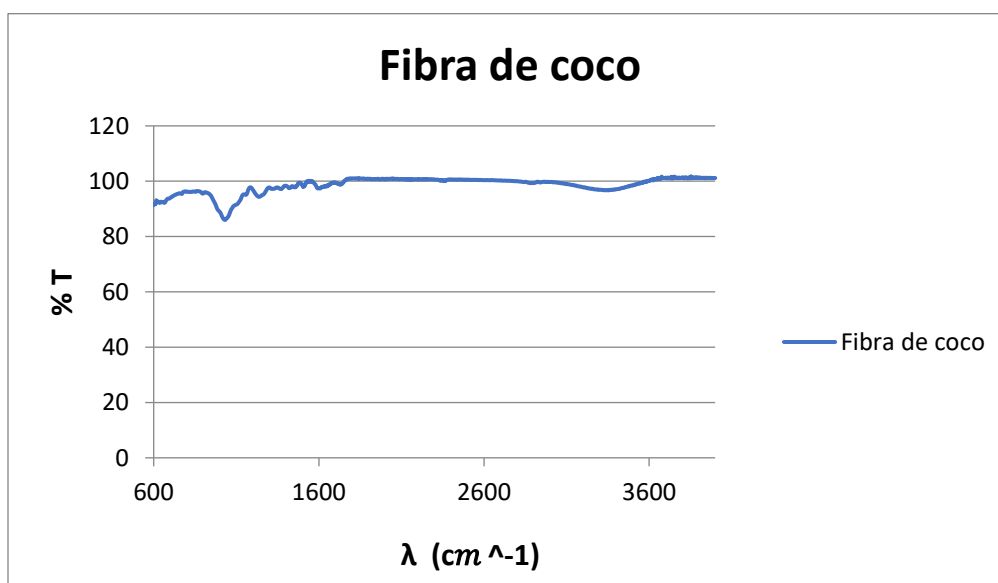


**Figura 33** A) Fibra de coco sin ser adicionada en la mezcla de mortero. Figura 33. B) Fibra de coco y estiércol bovino adicionado en la mezcla de mortero.

**Fuente:** Autores, 2019.

#### 5.1.4. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).

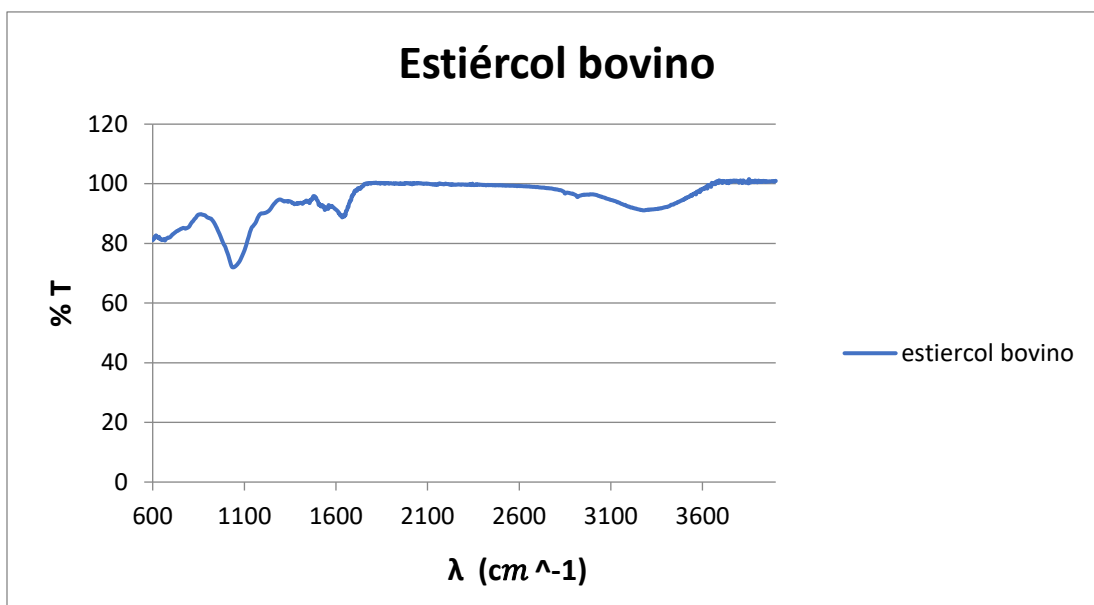
En la figura 34 ilustra la gráfica de FTIR para la fibra del coco y la figura 35 ilustra la gráfica de FTIR para el estiércol bovino, donde se muestran los espectros realizados para los dos residuos orgánicos.



**Figura 34** Espectro FTIR fibra de coco

**Fuente:** Autores, 2019.

Los espectros de FTIR de la fibra del coco de la figura 34 ilustran una serie de curvas o picos en cierta longitud de onda  $\lambda$ , observando algunos grupos funcionales presentes en la fibra del coco. (Kochova, Gauvin, Schollbach y Brouwers, 2020) Revelaron que el espectro de la fibra de coco sin ningún tratamiento presentó un pico prolongado en la región de  $3300\text{ cm}^{-1}$  vibración de enlace O–H perteneciente a los polisacáridos. Se ilustró una vibración en la región  $1650\text{-}1630\text{ cm}^{-1}$  correspondiente a OH Hidroxilo. A demás la fibra del coco ilustró una vibración de C = O (Carbonilo) estiramiento en la región  $1750\text{-}1730\text{ cm}^{-1}$  asignado como hemicelulosa. Asimismo, se encontraron vibraciones en  $1595\text{ cm}^{-1}$  anillo aromático + C = O estiramiento, en  $1505\text{ cm}^{-1}$  C = C estiramiento simétrico aromático y en  $1465\text{ cm}^{-1}$  – deformación CH pertenecientes a la lignina. También se ilustraron vibraciones en  $1425\text{ cm}^{-1}$  flexión simétrica de  $\text{CH}_2$  (Metileno), = estiramiento de C C en grupos aromáticos pertenecientes a la pectina, lignina y hemicelulosa. En  $1370\text{ cm}^{-1}$  se resaltó una vibración de flexión CH perteneciente a polisacáridos, seguido de un pico en la región de  $1320\text{ cm}^{-1}$  en el grupo C–O anillo aromático perteneciente a la celulosa, igualmente se notó un pico en la región de  $1240\text{ cm}^{-1}$  vibración C–O grupo aríl perteneciente a la lignina y también se presenta un pico en  $1160\text{ cm}^{-1}$  vibración C–O–C perteneciente a la celulosa y hemicelulosa. Finalmente se resalta un pico prolongado en la región de  $1035\text{ cm}^{-1}$  vibración C–O, C = C, C–O–C perteneciente a la celulosa, hemicelulosa y lignina.



**Figura 35 Espectro FTIR estiércol bovino**

**Fuente:** Autores, 2019.

Los espectros de FTIR del estiércol bovino de la figura 35 ilustran una serie de curvas o picos en cierta longitud de onda  $\lambda$ , observando algunos grupos funcionales presentes en el estiércol bovino. (G. Bekiaris et al 2015) revelaron que el espectro de estiércol bovino presentó un pico a  $1680\text{ cm}^{-1}$ . Este pico es denotado en la región entre  $1680$  y  $1640\text{ cm}^{-1}$  que se asignó a la vibración de estiramiento del = enlace CO de la amida (región amida I del espectro) y carboxilatos. Además, el estiércol bovino ilustró un pico a  $1510\text{ cm}^{-1}$  asignado a la vibración de estiramiento del = enlace aromático C C de los compuestos de lignina e indicando un alto contenido de paja y fibras en la alimentación del ganado. Asimismo, se notó una curva débil en la región alrededor de los  $1545\text{ cm}^{-1}$  observado en el espectro promedio del estiércol bovino y se atribuyó – a la vibración captada en el plano N H amida (Región de la amida II). También hacen una división de dos subregiones: ilustran una región cercana a  $1320\text{ cm}^{-1}$  que se asigna – a la vibración C N de las amidas aromáticas primaria y secundaria, y otra región ubicada entre  $1265$  y  $1240\text{ cm}^{-1}$  determinada al estiramiento C–N vibración de

amida, así como la  $\nu$  vibración de estiramiento C O de ácidos carboxílicos. El extenso pico entre 1200 y 900  $\text{cm}^{-1}$  centrado en 1050  $\text{cm}^{-1}$  formó una región de picos superpuestos de la  $\nu$  vibración de estiramiento C O de polisacáridos alrededor de 1160 y 1080  $\text{cm}^{-1}$ , la  $\delta$  vibración de flexión de carbohidratos de C O a 1050  $\text{cm}^{-1}$ , así como la vibración de estiramiento de P-O y Si-O de fosfatos y silicatos, respectivamente, en la región entre 1100 y 1000  $\text{cm}^{-1}$ . Finalmente, algunos minerales y componentes de lignina se presentaron en la región por debajo de 1000  $\text{cm}^{-1}$ , mientras que la región de 899  $\text{cm}^{-1}$  fue asignado al estiramiento C-O-C de la celulosa amorfa.

Los espectros de la fibra de coco y del estiércol bovino son descritos con sus grupos funcionales, numero de ondas y biopolímeros presentes en las tablas A.1.6 y A. 1.7 en el anexo A 4.

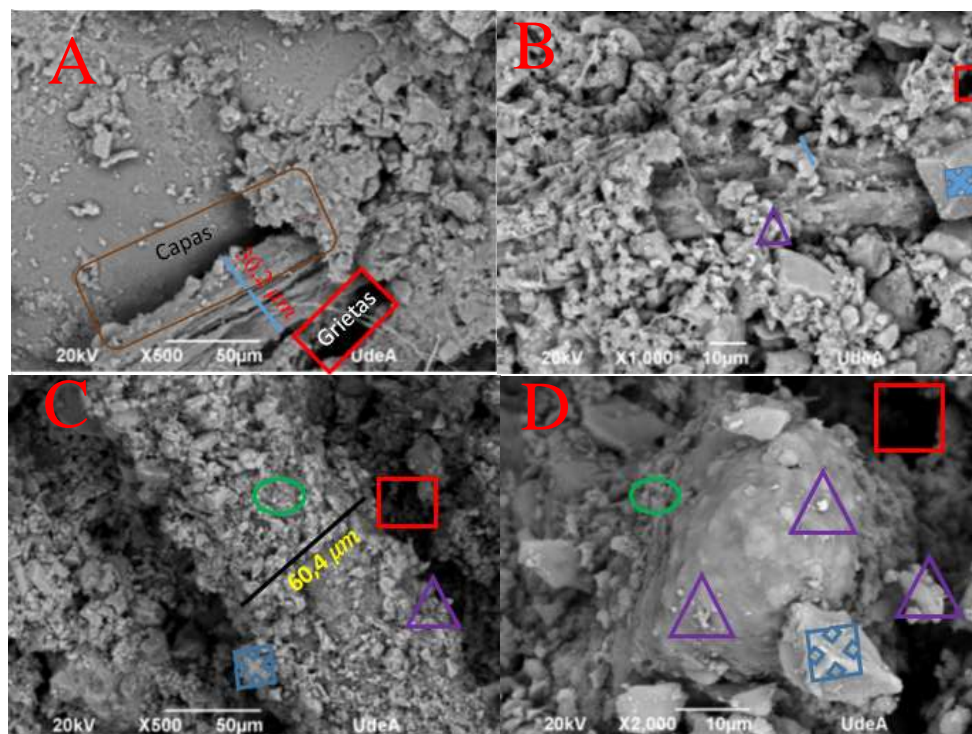
(Kerni et al., 2020) para desarrollar un material compuesto con buenas propiedades mecánicas, se deben usar fibras naturales que tengan alto contenido de celulosa y bajo contenido de hemicelulosa y lignina. También las propiedades físicas como la longitud y diámetro de la fibra natural influyen en las propiedades mecánicas del compuesto. Entre más pequeño sea el diámetro de la fibra natural, darán un mejor aporte en las propiedades mecánicas que las fibras de mayor diámetro.

Comparando estos resultados son similares a los estipulados en esta investigación acerca de la fibra de coco y del estiércol bovino descritos en las figuras 34 y 35. La componente de celulosa sobresale con un pico bastante prolongado, lo que implica un alto contenido de ella, brindando fuerza y rigidez en la fibra orgánica. También la fibra orgánica se resalta por no tener un pico tan prolongado en los contenidos de hemicelulosa, los cuales tienen buena solubilidad en agua y absorción de agua. Por último, se destaca la lignina por ser el principal

agente de unión, que actúa como matriz en el compuesto celulósico, frenando el ingreso de ataques de microorganismos o penetración de las enzimas destructivas en la pared celulósica (Kochova et al., 2020).

#### 5.1.5. Microscopia electrónica de barrido (SEM).

Se realizó imágenes superficiales para caracterizarlos bloques M E3-F0 y M E3-F1,5 para evaluar la morfología de la fibra del coco y del estiércol bovino. La figura 36 A ilustra la imagen de SEM del estiércol bovino en el bloque M E3-F0 a 50  $\mu\text{m}$ , la figura 36 B ilustra la imagen de SEM del estiércol bovino en el bloque M E3-F0 a 10  $\mu\text{m}$ , la figura 36 C ilustra la imagen de SEM del estiércol bovino junto con la fibra del coco en el bloque M E3-F1,5 a 50  $\mu\text{m}$  y por último la figura 36 D ilustra la imagen de SEM del estiércol bovino junto con la fibra del coco en el bloque M E3-F1,5 a 10  $\mu\text{m}$ .



**Figura 36** A) SEM muestra de bloque M E3-F0 a 50  $\mu\text{m}$ . Figura 36. B) SEM muestra de bloque M E3-F0 a 10  $\mu\text{m}$ .. C) SEM muestra de bloque M E3-F1,5 a 50  $\mu\text{m}$ . Figura 36. D) SEM muestra de bloque M E3-F1,5 a 10  $\mu\text{m}$ .

**Fuente:** Autores, 2019.



Se logra observar fibra orgánica con un diámetro aproximado de  $50\ \mu m$  cubierta por varias capas en la muestra del bloque M E3-F0 en la figura 36 A. Este resultado es similar con los de (Ormaechea et al, 2018) donde se ilustró un sustrato con partículas de tamaño heterogéneo y restos vegetales los cuales no han sido digeridos por el tracto digestivo del bovino. Estas partículas de planta en el estiércol bovino están desarrolladas por tejidos y órganos que tienen distintas proporciones de biopolímeros como lignina (2,7 - 5,7%), hemicelulosa (1,4 - 3,3%) y celulosa (1,6 - 4,7%). En la figura 36 B se logra observar que las partículas de estiércol bovino dejan un espacio diminuto de menos de  $10\ \mu m$  entre ellas y la matriz de concreto. También se resalta que los espacios son producto de partículas de aire atrapadas entre las partículas de estiércol bovino y la matriz de concreto. Algunas de esas partículas de estiércol bovino se adhieren a la parte superficial del material fibroso y a los distintos minerales presentes en la matriz de concreto.

En la figura 36 C y en la figura 36 D se logra observar la fibra de coco con un diámetro aproximado a  $50\ \mu m$ , cubierta por varias partículas de la matriz de concreto y por pocas partículas del estiércol bovino en la muestra del bloque M E3-F1,5. A demás se observan grietas alrededor de la fibra, productoras de poros o capas en la matriz de concreto. Estos resultados son semejantes a los de (Asim et al., 2020) donde en la microestructura de concreto con fibras naturales se encontraron poros llenos de aire, el cual es proclamado como buen aislante térmico ( $0,026\ W\ m^{-1}K^{-1}$ ). También, a medida que aumentaba el contenido de fibra en la matriz de concreto aumentaba el número de poros que contenían partículas de aire, a la vez aumentaba el volumen de aire atrapado, lo que resultó un mayor aislamiento térmico. Por otra parte, la fibra de coco está organizada por biopolímeros como la celulosa, lignina y hemicelulosa. La lignina puede ser posible agente de disminuir el flujo de calor que transita

por la matriz de concreto producto de la barrera térmica que crea.

#### 5.1.6. Densidad de los materiales

En la tabla 10 se muestra el valor de la densidad obtenido para los materiales utilizados.

**Tabla 10.** Densidad de los materiales orgánicos.

Materiales	Densidad ( $g/cm^3$ )	Fuente
Fibra de coco	$0,9\pm0,3$	Autores, 2019
	1,21	Machado y Cabrera, 2017
Estiércol	$0,24\pm0,1$	Autores, 2019
	0,342	Pedroza y Doria, 2018

Analizando la tabla 10 se observó que los resultados obtenidos son bastante similares con los de otras fuentes. Por otro lado, se ve que la densidad de la fibra de coco es mayor que la del estiércol, por lo tanto, se necesitó más volumen de estiércol que de fibra de coco en el proceso de preparación del mortero.

#### 5.1.7. Resultados del analisis de la arena y el cemento

La arena que se utilizó para la fabricación de los bloques vibro compactados y placas de conductividad térmica, obtuvo un módulo de finura de 2,9 el cual se presenta como arena gruesa. Teniendo en cuenta que el valor del módulo de finura conseguido es mayor que 2,3 pero menor a 3,1, indica un rango aceptado por la norma ASTM C33-16.

El cemento que se utilizó para la fabricación de los bloques vibro compactados y placas de

conductividad térmica fue Ultracem gris Tipo ART de uso estructural con propiedad de densidad de  $2300 \text{ kg m}^{-3}$ .

#### **5.1.8. Elaboración de bloques y probetas para la medición de conductividad térmica**

Las proporciones de cada cantidad de cemento, arena y agua situados para obtener un  $1 \text{ m}^3$  de mortero relacionada en el anexo se muestran en la tabla 11.

**Tabla 11.** Proporciones de materiales empleados para obtener un  $1 \text{ m}^3$  de mortero.

<b>MATERIAL</b>	<b>PESO SECO (k)</b>	<b>PESO ESPECÍFICO (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUMEN (L)</b>
<b>CEMENTO</b>	195,9	3,1	63,19
<b>ARENA</b>	1093,122	1,43	764,42
<b>AGUA</b>	172,392	1	172,39
<b>TOTAL</b>	1461,414		1000

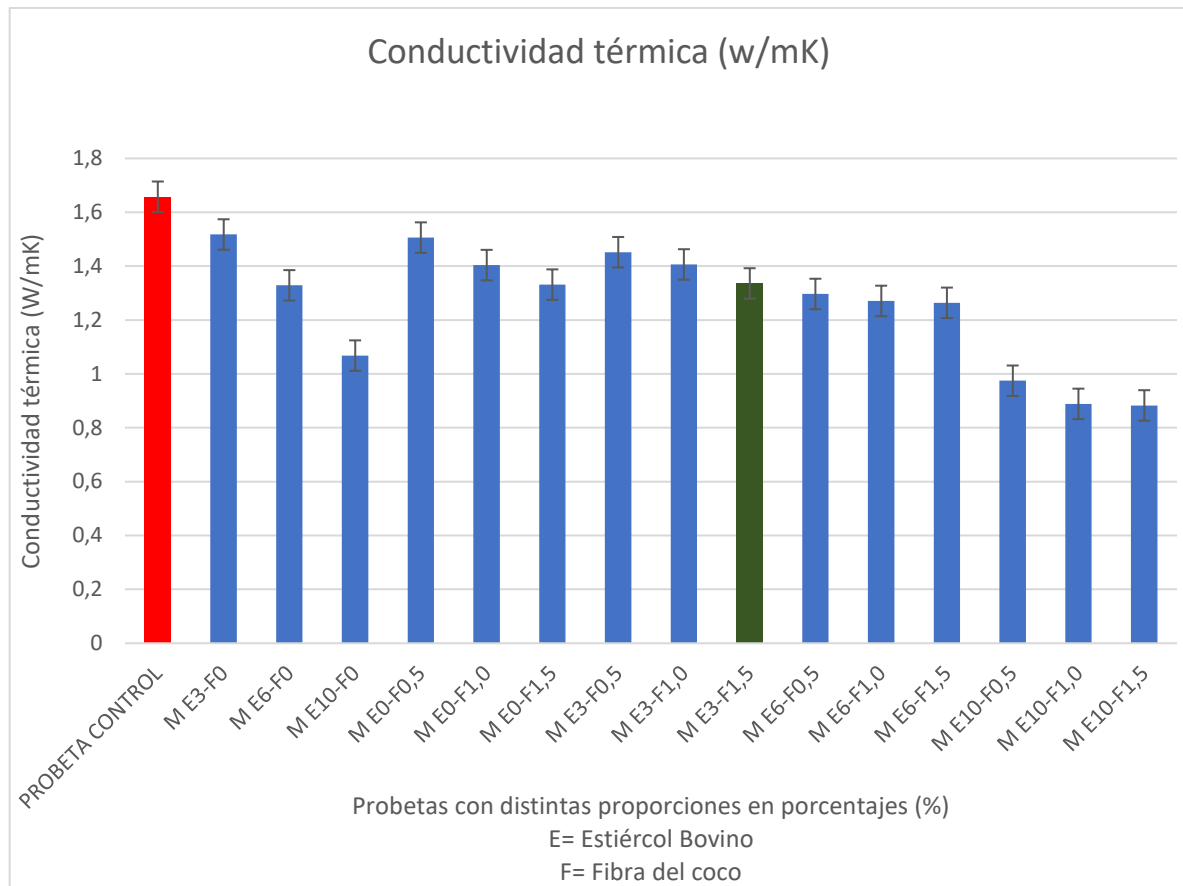
Fuente: Autores, 2019.

En las tablas A 7.8, A 7.9, A 7.10 y A 7.11 se ilustran las cantidades en volumen y masa respectivamente usadas de cada material para la fabricación de un bloque y probeta de acuerdo a cada tratamiento ver en anexo A 5

## **5.2. ENSAYOS REALIZADOS A LOS BLOQUES Y PROBETAS PARA LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA**

### **5.2.1. Resultados de conductividad térmica a las probetas conforme a la norma ASTM C177-19**

Los resultados obtenidos de la conductividad térmica a las probetas se muestran en la figura 34.



**Figura 37** Gráfica de conductividad térmica para las probetas con diferentes tipos de proporciones.

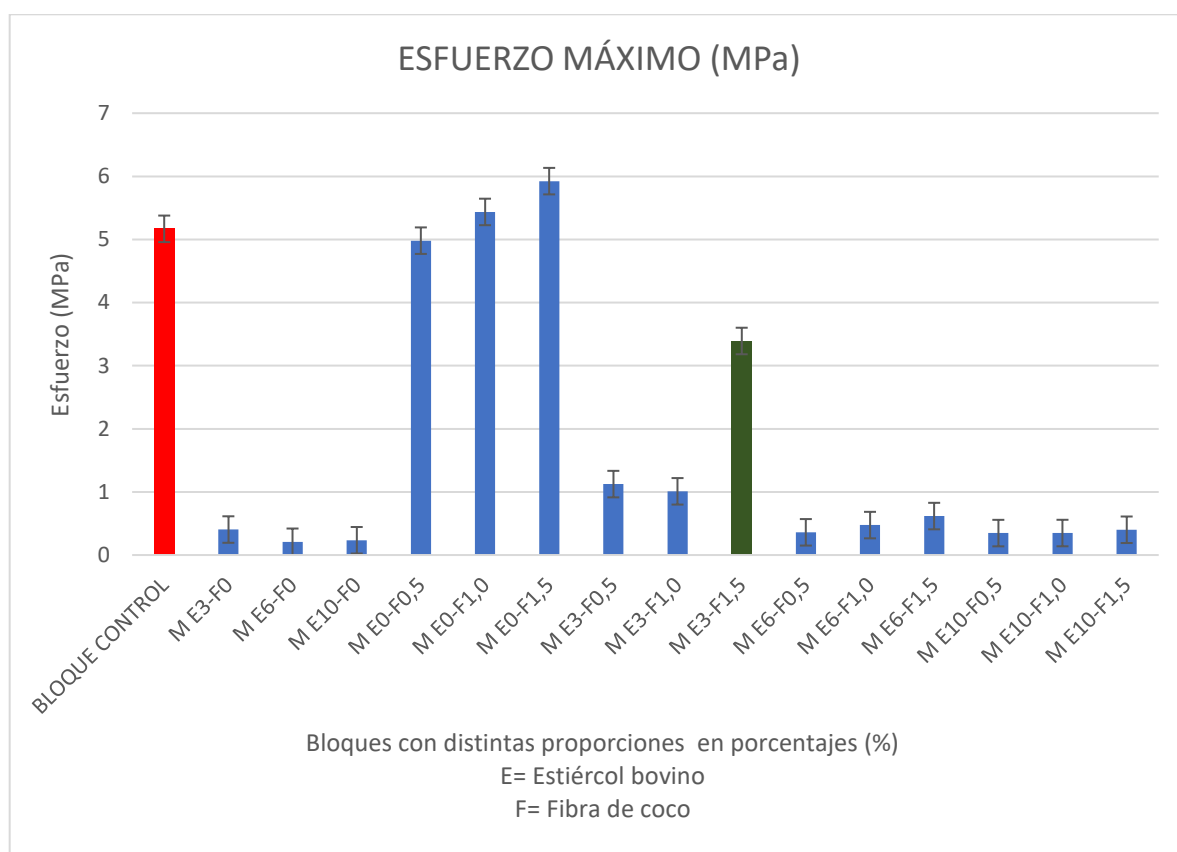
**Fuente:** Autores, 2019.

Los resultados de coeficiente de conductividad térmica para las probetas con diferentes proporciones mostraron un coeficiente de conductividad térmica de  $1,66 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$  para la probeta de control siendo el valor más alto alcanzado. El coeficiente de conductividad térmica más bajo fue de  $0,88 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$  perteneciente a la muestra M E10-F1,5; es decir, se redujo en un 50% la capacidad de conducir calor. También se puede notar que el coeficiente de conductividad térmica de la muestra M E3-F1,5 dio como resultado  $1,34 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$  siendo un 25% menos que la capacidad de conducir calor del bloque de control. Comparando estos resultados, son similares a los de (Zhang et al., 2015) los cuales obtuvieron

un coeficiente de conductividad térmica para las muestras de mortero de cemento de  $1,35 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ,  $1,42 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ,  $1,48 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$  y  $1,65 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$  para la agregación de fracciones de volumen de arena de 0,3; 0,4; 0,5 y 0,6 a los 28 días de curado y utilizando la norma ASTM C177-1, respectivamente.

### 5.2.2. Resultados de resistencia a la compresión de los bloques vibro compactados conforme a la norma ASTM C140

Los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de los bloques se muestran en la figura 35.

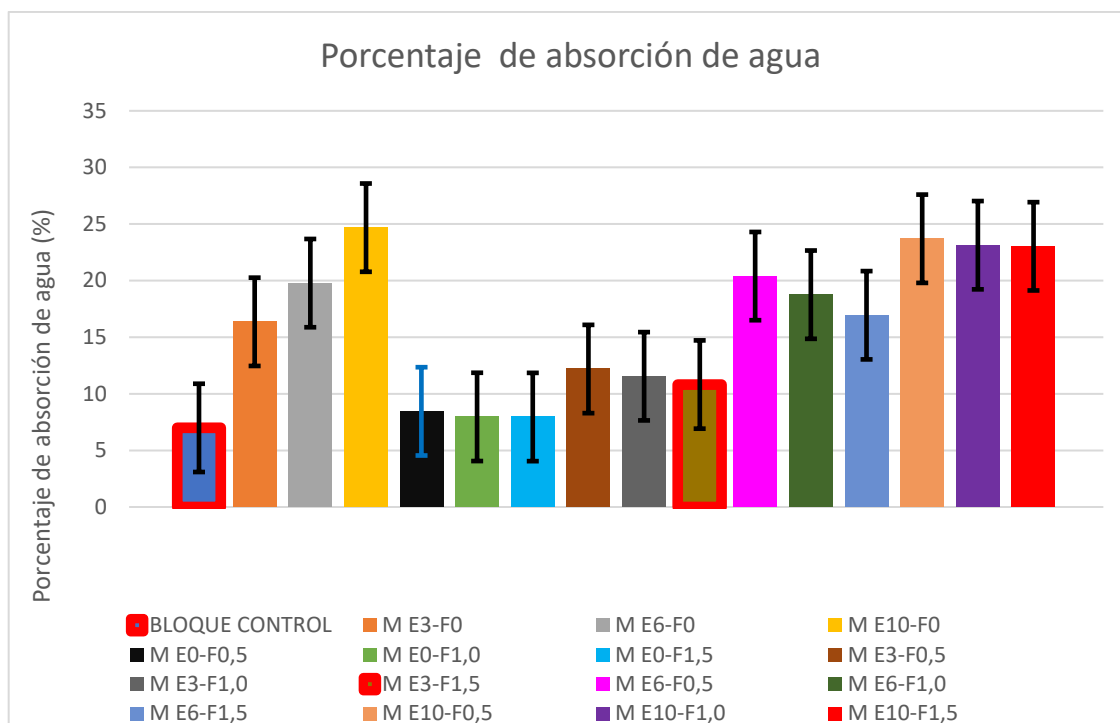


**Figura 38** Gráfica de resistencia a la compresión para bloques vibro compactados con diferentes tipos de proporciones.

**Fuente:** Autores, 2019.

La resistencia a la compresión en este estudio para los bloques vibro compactados con solo agregado de fibra de coco (M E0-F1,0) y (M E0-F1,5) superan la resistencia a la compresión del bloque de control en un 5% y 15%, cabe destacar, que los bloques vibro compactados tanto el de control y los bloques de distintas proporciones (M E0-F0,5), (M E0-F1,0), (M E0-F1,5) y (M E3-F1,5) cumplen con los requisitos de resistencia a la compresión establecidos en la norma ASTM C129-17. Comparando estos resultados con el libro Advanced concrete technology processes (Newman. J y Choo.B, 2003) donde especifican que el concreto con agregado liviano clasificados como tipo II tienen una resistencia a la compresión mayores a 3,5 MPa y densidad de  $1600 \text{ kg m}^{-3}$ , los cuales son resultados similares a los bloques M E3-F1,5 realizados en el estudio. Realizando un cálculo para saber el esfuerzo al que está sometido un bloque con las dimensiones, características y masas iguales a la descrita en la investigación se encontró que en la parte más baja de una pared divisora de 2,8 m de altura un bloque soporta el peso de 14 unidades. La masa de un bloque M E3-F1,5 resultó ser de 12 kg lo que indica un peso sobre el bloque de 1648,08 N. El área neta promedio de los bloques es  $326,1 \text{ cm}^2$  aproximadamente  $0,03261 \text{ m}^2$  el esfuerzo al que está sometido un bloque M E3-F1,5 es de 50,54 kPa aproximadamente 0,051 MPa esto implica que el bloque M E3-F1,5 puede utilizarse en la mampostería ya que su valor de resistencia obtenido fue de 3,53 MPa. Al comparar los resultados con los bloques de control la reducción a la resistencia a la compresión para el bloque M E3-F1,5 es de un 31,5% respectivamente.

La absorción de agua en los bloques tiende a mostrar un aumento cuando se incrementa el contenido de fibra de coco o estiércol bovino en la matriz de concreto con respecto a la del bloque de control. En la figura 36 se puede observar dicho aumento.



**Figura 39** Gráfica de porcentaje de absorción de agua de bloques vibro compactados con diferentes tipos de proporciones.

**Fuente:** Autores, 2019.

El aumento de la absorción de agua muy probablemente se deba al remplazo del porcentaje de volumen del mineral arena por compuestos orgánicos sensibles a los efectos de humedad como el estiércol bovino y la fibra de coco. Al momento de humedecer la mezcla preparada, la cantidad de agua no es abundante ya que gran porcentaje es absorbido por la fibra de coco y por el estiércol bovino. Los bloques vibro compactados tuvieron una mezcla seca para poder hacer una mejor compactación y mitigar un poco la generación de poros en los bloques ayudando así a no retener tanta cantidad de agua y por ende aumentar el porcentaje de absorción de agua (Borré y Flórez, 2016).

Comparando estos resultados en el bloque M E3-F1,5 el cual, con lo descrito en la conductividad térmica y en la resistencia a la compresión se destacó cumpliendo con los parámetros determinados por las normas y también por presentar una buena absorción de

agua, ya que cumple con los requisitos establecidos en la norma ASTM C90-16. Se observa que el bloque M E3-F1,5 se clasifica en bloque liviano con densidad de  $1600 \text{ kg m}^{-3}$ , absorción de agua de  $206,53 \text{ kg m}^{-3}$  y porcentaje de absorción de agua de 10,82%. Para el cálculo de la absorción de agua y porcentaje de absorción de agua en el bloque M E3-F1,5 ver anexo A6.

Por otra parte, la tabla 12 ilustra las descripciones de los bloques de control y de los bloques M E3-F1,5 realizados en la investigación.

**Tabla 12.** Descripciones de los bloques de control y del bloque M E3-F1,5.

<b>BLOQUE</b>	<b>BLOQUE CONTROL</b>	<b>M E3-F1,5</b>
Ancho de unidad (cm)	14	14
Longitud unidad (cm)	39	39
Alto unidad (cm)	20	20
Masa total inicial	13753	12942
Masa sumergida agua (g)	7665	7274
Masa húmeda superficie seca (g)	14173	13796
Masa seca (g)	13247	12449
Absorción (%)	6,99	10,82
Absorción ( $\text{g/cm}^3$ )	0,14	0,21
Contenido humedad (%)	3,82	3,96
Densidad seca ( $\text{g/cm}^3$ )	2,04	1,91
Volumen neto promedio ( $\text{cm}^3$ )	6508	6522
Área neta promedio ( $\text{cm}^2$ )	325,4	326,1
Área bruta ( $\text{cm}^2$ )	546	546

Fuente: (Autores 2019)

Adicionalmente, se hace un estudio de costos para la producción de bloques con estiércol bovino y fibra de coco. El análisis se muestra en el anexo A 7. Los criterios en esta investigación se hicieron con base en los precios establecidos en el comercio de la ciudad de Montería.



## 6. CONCLUSIÓN

- Se elaboraron bloques vibro compactados y placas para la medición de conductividad térmica con porcentajes de fibra de coco en un 0,5; 1 y 1,5%, y de estiércol bovino en un 3, 6 y 10%.
- Es posible que al aumentar el contenido de fibra en la matriz de concreto aumentaba el número de poros que contenían partículas de aire, a la vez aumentaba el volumen de aire atrapado, lo que resultó un mayor aislamiento térmico.
- La relación entre el porcentaje de fluidez y relación agua/cemento (A/C) es del 90% creando una mezcla seca de mortero y así mitigar el desbordamiento de la mezcla al momento de desmoldar.
- En los ensayos de conductividad térmica se encontró que esta se redujo en un 50% para M E10-F1,5 con respecto a la placa de control, dando un resultado bastante significativo en cuanto a su reducción. También se evidenció que entre mayor era el porcentaje de agregados de estiércol y fibra de coco el coeficiente de conductividad térmica disminuía.
- Para el ensayo a compresión se encontró que los bloques que contenían solo estiércol, estiércol en un 6% con fibra de coco y estiércol en un 10% con fibra de coco su resistencia se redujo casi en un 90%, no cumpliendo con ninguna norma. Mientras que los bloques que contenían fibra de coco en un 1% y 1,5% superaron en un 5% y un 15% respectivamente la resistencia a la compresión del bloque control cumpliendo con la norma ASTM C129-17.

- Para la mezcla M E3 – F1,5 siendo esta la única que contiene los dos agregados cumplió con la norma ASTM C129-17 con respecto a su resistencia y su conductividad térmica fue un 25% aproximadamente menor que la de control.
- En la fabricación de los bloques se hicieron pruebas con porcentajes mayores a 10% con respecto al estiércol y se evidenció que estos no dan buena compactación dando lugar a mal formación de los mismos y grietas.
- Entre más cantidad de arena se extraiga de la mezcla su resistencia va a tender a caer, esto se evidencia al observar cómo su valor disminuye con el aumento del porcentaje de estiércol.

## 7. RECOMENDACIONES

- 7.1. Se recomienda estudiar un tratamiento químico a los materiales usados para minimizar al máximo los efectos de la biodegradación y ser aprovechados en su totalidad.
- 7.2. Estudiar los efectos causados por los tratamientos utilizados en los materiales y ver que propiedades mecánicas varían por efecto del proceso.
- 7.3. Seleccionar el método adecuado para que las fibras de coco queden alineadas en una sola dirección dentro del molde de los bloques de concreto y ver si mejoran la resistencia de estos mismos.
- 7.4. Al momento de realizar la mezcla utilizando estiércol tener en cuenta que la cantidad de agua calculada para las dosificaciones no es la total, ya que éste absorbe gran cantidad de esa agua dejando la mezcla incompleta por lo que se recomienda utilizar un 30% adicional al calculado.
- 7.5. Construir moldes que sean fáciles de desarmar, ya que al momento de sacar las placas para las pruebas de conductividad térmica tienden a quebrarse por la misma fuerza que se aplica para poder extraerlas.
- 7.6. Para evitar en gran medida porosidades en la superficie de las placas para ensayos de conductividad térmica tratar de no usar aceite o lubricantes en cantidad, sino en pequeñas capas.

## **8. REFERENCIAS**

**Asim. M, Uddin. G, Jamshaid. H, Raza. A, Tahir. Z, Hussain. U, Satti. A, Hayat. N and Arafat. S.** 2020. Comparative experimental investigation of natural fibers reinforced light weight concrete as thermally efficient building materials. Journal of Building Engineering.

**ASTM C 33.** Standard specification for concrete aggregates.

**ASTM C 129.** Standard specification for nonloadbearing concrete masonry units.

**ASTM C 140.** Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Masonry Units and Related Units.

**ASTM C 177.** Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus. 2013.

**Asadi, Shafigh, Abu Hassan, Mahyuddin.** 2018. Thermal conductivity of concrete - A review.

**Ashour, T. Korjenic, A. Korjenic, S. Wu, W.** 2015. Thermal conductivity of unfired earth bricks reinforced by agricultural wastes with cement and gypsum. Energy and Buildings 104 139–146.

**A.Faghri.** 2013. Review and advances in heat pipe science and technology, J. Heat Transfer

134 (12) 123001-123001-18.

**Borré, A., Flórez, L.** 2016. Investigación del coeficiente de conductividad térmica de bloques fabricados con mortero y olote de maíz (*zea mays*) para aplicaciones en mampostería. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico, Universidad de Córdoba, Montería.

**C. Fabiani, A.L. Pisello.** 2018. Coupling the transient plane source method with a dynamically controlled environment to study PCM. Doped building materials.

**DANE 2005.** Informe presentado en el censo de 2005 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Documento en línea.

**DANE 2016.** Proyección por municipios (2005 – 2020).

**D.Belkharchouche, A. Chaker.** 2016. Effects of moisture on thermal conductivity of the lightened construction material. Int. J. Hydrog. Energy, 41 (17), pp. 7119-7125.

**D.M.S Al-Homoud.** 2005. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. Build, Environ., 40, pp. 353-366.

**FAO (2010).** Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y su potencial de mitigación. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

**Forero, C., Jochum, J., Sierra, F.** (2012). Characterization and feasibility of biomass fuel pellets made of Colombian timber, coconut and oil palm residues regarding European standards. *Environmental Biotechnology* 8 (2): 67-76.

**Gandage, Rao, Sivakumar, Vasan.** Effect of Perlite on Thermal Conductivity of Self Compacting Concrete. 2013.

**Garcia,L.(2009).** Estiercol de bovino mitos y realidades. ACPA.

**Gómez, M.** ANÁLISIS TÉRMICO DEL MORTERO ADICIONADO CON FIBRA DE COCO 2017.

**Girskas G, Nagrockiene D, Skripkiunas G.** 2017. Analys of durability testing of concrete landcaping units. *Construction and building materials*.

**ICA (2019).** Censo bovino en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario.

**ICER 2012.** Informe de coyuntura económica regional 2012.

**ICONTEC 247.** Bloques huecos de hormigón (concreto) para muros 2019.

**ICONTEC 249.** Dimensiones modulares de bloques huecos de hormigón (concreto) 2019.

**ICPC.** Fabricación de bloques de mortero. INSTITUTO COLOMBIANO DE

## PRODUCTORES DE CEMENTO.

**Incropera, F., DeWITT, D. 1999.** Fundamentos de transferencia de calor. Pearson Prentice Hall, México, p46.

**Kerni. L, Singh. S, Patnaik.A y Kumar. N.** 2020. A review on natural fiber reinforced composites. Materials Today: Proceedings

**Khan. M., Ali. M.** 2018. Effect of super plasticizer on the properties of medium strength concrete prepared with coconut fiber. Construction and building materials.

**Kochova. K, Gauvin. F, Schollbach. K and Brouwers. H.** 2020. Using alternative waste coir fibres as a reinforcement in cement-fibre. [Energía renovable](#).

**Kumar J, Kumar S, Basarkar S.** Concrete using agro-waste as fine aggregate for sustainable built environment 5, 312–333. 2016.

**Li Z, Wang D, Sui P, Long P, Yan L, Wang X, Yan P, Shen Y, Dai H, Yang X, Cui J, Chen Y.** 2018. Effects of different agricultural organic wastes on soil GHG emissions: During a 4-year field measurement in the North China Plain. Waste managemet.

**Machado. S., Cabrera. O.** 2018. Evaluación del coeficiente de conductividad térmica y de las propiedades mecánicas de un material compuesto con matriz de resina de poliéster y fibra

del mesocarpio del coco. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico, Universidad de Córdoba, Montería.

**Mati-Baouche, N. De Baynast, H. Lebert, A. Sun, S. Sacristan, C. Leclaire, P. Michaud, P.** 2014. Mechanical, thermal and acoustical characterizations of an insulating bio- based composite made from sunflower stalks particles and chitosan, *Industrial Crops and Products* 58 244–250. 2014.

**Moura. A, Demori. R, Leaoc. R, Frankenbergd. C, Santanaa. R.** 2019. The influence of the coconut fiber treated as reinforcement in PHB (polyhydroxybutyrate) composites. *Materials today communications*.

**Navarro P, Gómez L, Moral H y Mataix B,** 1995. *Residuos orgánicos y agricultura* Universidad de Alicante, España.

**Ormaechea. P, Castrillón. L, Suarez. B, Megido. L, Fernández. Y, Negral. L, Marañón. E and Rodríguez J.** 2018. Enhancement of biogas production from cattle manure pretreatedand/or co-digested at pilot-plant scale. Characterization by SEM. *Renewable Energy*.

**Partes del coco, materiales para la construcción, documento (en línea) disponible en:** <https://allyouneedisbiology.wordpress.com/2016/06/20/biologia-cocotero-coco/>. Última revisión sábado 2 de Junio 2018.



**Quero, J. 1994.** Flora de Veracruz. Fascículo No. 81 PALMAE. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz. 118 pp.

**Quiceno, D, Mosquera. M.** 2010. Alternativas tecnológicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible.

**Quintana, C. (2012).** Situación del coco y del sector cocotero en Colombia. agro 2.0.

**Quintana, C. (2014).** Acuerdo de competitividad Coco. Cadena Nacional del Coco de Colombia.

**Quintero & 36 González,** 2006. Uso de fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Ingeniería y desarrollo, 134-150.

**S. Yang, C. Sun, T. Chai.** 2019. Distribution of ASR gel in conventional wet-mix glass mortars and mechanically produced dry-mix glass blocks. Construction and building materials.

**Sánchez, D.** Tecnología del concreto y del mortero. Brandar editores Ltda. Quinta edición. 2001.

**SIOC, 2016.** Cifras sectoriales del coco. Cadena Nacional del Coco. Sistemas de Información para gestión y desempeño de Organizaciones de Cadenas.

**Villanueva, N.** 2016. Influencia de la adición de fibra de coco en la resistencia del concreto.

**UPME.** Evaluación de la situación actual y de los escenarios futuros del mercado de los materiales de construcción y arcillas en las ciudades de Cali, Cúcuta, Villavicencio, Cartagena, Sincelejo, Yopal, Valledupar y Montería. 2014.

**X. Lu, A. Memari.** 2018. Comparative study of Hot Box Test Method using laboratory evaluation of thermal properties of a given building envelope system type. *Energy, Build.*, 178, pp. 130-139.

**X. Xu, Y.Zhang, K. Lin, H. Di, R. Yang.** 2005. Modeling and simulation on the thermal performance of shape-stabilized phase change material floor used in passive solar buildings. *Energy, Build.*, 37, pp. 1084-1090.

Yaman, S., & Sahann, M. (2000). fuel processing tecnology.

**Zhang. W, Min. H, Gu. X, Xi. Y, Xing. Y.** 2015. Mesoscale model for thermal conductivity of concrete. *Construction and building materials.*

## 9. ANEXOS

### A 1: Procedimiento para el cálculo de mortero

La resistencia requerida es de  $72 \text{ kg cm}^{-2}$  y se tiene un módulo de finura de 2,9. La consistencia requerida es seca por lo tanto según la tabla A 9.1. Posee un porcentaje de flujo de 90 %.

Tabla A 1.1. Diferentes consistencias del mortero.

CONSISTENCIA	% DE FLUJO
SECA	90%
PLÁSTICA	110%
FLUIDA	130%

Fuente: (Borre y Flórez 2016)

PASO I: Cálculo de la relación agua cemento (A/C).

Al usar la ecuación A 1. Se obtiene la relación agua/cemento.

$$(A/C) = 6,58 (R_{28})^{-0,47} \quad (A 1.1)$$

Dónde:

$R_{28}$  = Resistencia a la compresión esperada a los 28 días de curado.

(A/C) = Relación agua/cemento.

$$(A/C) = 6,58 (72 \text{ kg/cm}^2)^{-0,47} = 0,88$$

PASO II: Determinación de la relación 1: n, siendo esta la relación cemento: arena. Para esto se utiliza la ecuación A 1.2.

$$n = \frac{\ln\left(\frac{A}{C}\right) - \ln(k)}{b} \quad (A 1.2)$$

Dónde:

(A/C) = Relación agua/cemento.

k = valor de la relación agua cemento para la consistencia requerida en términos de fluidez de la pasta de cemento.

b = factor de la correlación entre la consistencia y el módulo de finura de la arena

PASO III: Cantidad de cemento se obtiene de la ecuación A 1.3:

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{G_c} + \frac{n}{G_a} + \frac{A}{C}} \quad (A 1.3)$$

$G_c$  = Peso específico del cemento.

$G_a$  = Densidad aparente seca de la arena.

PASO IV: Contenido de agua se obtiene de la ecuación A 1.4:

$$A = \left(\frac{A}{C}\right) \times C \quad (A 1.4)$$

PASO V: Contenido de arena se obtiene de la ecuación A 1.5:

$$a = nC \quad (A 1.5)$$

Los valores de k y b establecidos en la ecuación A 1.2 se obtienen de la figura A 1.1 y la tabla A 1.2 respectivamente. Remplazando para este caso se puede calcular la cantidad de cada material para 1  $m^3$  de mortero.

TABLA A 1.2. Peso específico del cemento ( $G_c$ ) y densidad aparente seca de la arena ( $G_a$ ).

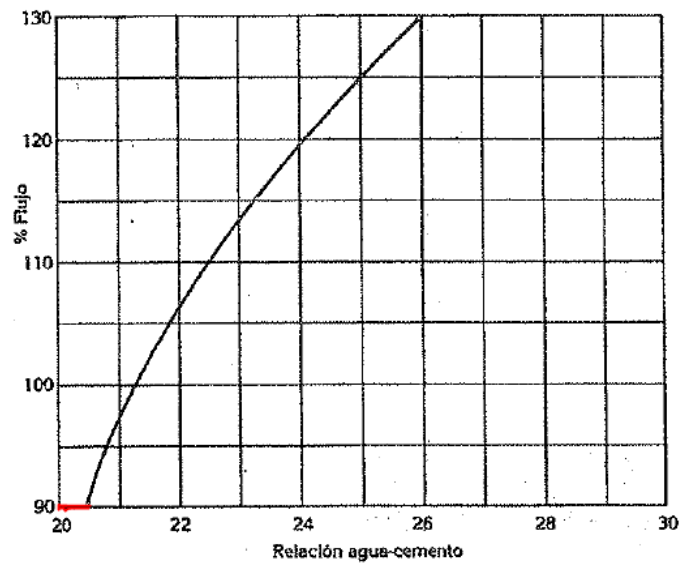
Materiales	Densidad ( $g/cm^3$ )	Fuente
Cemento ( $G_c$ )	3,10	Borré y Flórez, 2016
Arena ( $G_a$ )	1,43	Borré y Flórez, 2016

$$n = \frac{\ln(0,88) - \ln(0,205)}{0,2613} = 5,58$$

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{1,43} + \frac{5,58}{3,10} + 0,88} = 195,8987 \frac{kg}{cm^3}$$

$$A = 0,88 \times 195,8987 = 172,3908 \frac{L}{m^3}$$

$$a = 5,58 \times 195,8987 = 1093,1147 \frac{kg}{cm^3}$$



**Figura A 1.1** Relación entre % de fluidez y relación agua/cemento (A/C).  
Fuente: (Borre y Flórez 2016)

El valor de  $k$  se encuentra en el eje horizontal de la gráfica al conocer el % de fluidez, por lo tanto  $k = 0,205$ .

El valor de  $b$  se encuentra interpolando de la tabla A 1.3 para un módulo de finura de 2,9 se obtiene que  $b = 0,2613$ .

**TABLA A 1.3.** Valores de b para distintas consistencias y módulos de finura de la arena.

<b>Consistencia</b>	<b>Módulo de finura</b>	<b>Arena de granos redondos y lisos (arena del rio)</b>
Seca (90%)	1,7	0,3239
	2,2	0,3110
	2,7	0,2772
	3,2	0,2394
Plástica (110%)	1,7	0,3242
	2,2	0,3033
	2,7	0,2734
	3,2	0,2368
Fluida (130%)	1,7	0,3172
	2,2	0,2927
	2,7	0,2687
	3,2	0,2340

Fuente: (Autores 2019)

## A 2: Granulometría y módulo de finura de la arena utilizada

**Tabla A 1.4:** Granulometría y módulo de finura de la arena del rio Sinú

<b>Granulometría de la arena</b>				
<b>Muestra: 1375,3 g</b>				
<b>Tamiz</b>	<b>Tamiz (mm)</b>	<b>% Retenido</b>	<b>Masa retenida</b>	<b>% retenido Acumulado</b>
3/8 "	9,51	0	0	0
8	2,36	4,81	66,15	4,81
16	1,18	13,77	189,38	18,58
30	0,6	59,91	823,94	78,48
50	0,3	14,9	204,92	93,38
100	0,15	1,27	17,466	94,65
Suma de % retenidos acumulados				289,9
Módulo de finura				2,9

Fuente: Autores, 2019.

## A 3: Cálculo de la densidad de la arena

**Tabla A 1.5:** Cálculo de la densidad de la arena del rio Sinú

<b>Determinación de densidad de la arena</b>				
<b>Numero de ensayos</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Promedio</b>
<b>Masa recipiente + agua (g)</b>	449,07	450,2	450,03	
<b>Masa recipiente (g)</b>	100,26	100,26	100,26	
<b>Masa recipiente + arena (g)</b>	598,27	596,89	597,89	

<b>Masa arena seca</b>	497,52	496,63	499,63	
<b>Volumen del recipiente (<i>cm</i>)<sup>3</sup></b>	347,62	347,19	349,39	
<b>Densidad seca (<i>g/cm</i><sup>3</sup>)</b>	1,43	1,43	1,43	<b>1,43</b>
<b>Densidad seca (<i>kg/m</i><sup>3</sup>)</b>	1431,2	1430,4	1430	<b>1430</b>

Fuente: Autores, 2019.

#### A 4: Espectros de FTIR

**Tabla A 1.6:** Espectro de la fibra de coco

<b>Grupo funcional</b>	<b>Número de ondas (<i>cm</i><sup>-1</sup>)</b>	<b>Biopolímero</b>
Carbonilo C = O (Ácidos carboxílicos)	1745	Hemicelulosa
Metilo CH Hidrocarburo (Alquenos)	1465	Lignina
Metileno CH <sub>2</sub> ( <i>Aromático</i> )	1425	Lignina y hemicelulosa
C–O–C (Éteres)	1160	Celulosa y hemicelulosa
C–O, C = C, C–O–C (A. carboxílicos) (Aromático) y	1035	Celulosa, lignina y hemicelulosa



(Éteres)

Fuente: (Autores 2019)

**Tabla A 1.7:** Espectro de la fibra de coco

Grupo funcional	Número de ondas ( $\text{cm}^{-1}$ )	Biopolímero
C = C ( <i>Aromático</i> )	1510	Lignina
P–O y Si–O de fosfatos y silicatos	1050	Aglomerantes
C–O–C (Éteres)	1000	Lignina

Fuente: (Autores 2019)

**A 5: Cantidades en volumen y masa respectivamente usados de cada material para la fabricación de un bloque y probeta de acuerdo a cada tratamiento.**

**Tabla A 1.8:** Proporciones de cada material en volumen en los distintos tipos de bloques.

Cantidad en volumen de cada material para 1 bloque ( $\text{m}^3$ )					
Tratamiento	Cemento	Arena	Agua	Estiércol	Fibra de coco
<b>Bloque Control</b>	0,000379	0,004587	0,001034	0,000000	0,000000
<b>M E0-F0,5</b>	0,000379	0,004564	0,001034	0,000000	0,000023
<b>M E0-F1,0</b>	0,000379	0,004541	0,001034	0,000000	0,000046
<b>M E0-F1,5</b>	0,000379	0,004518	0,001034	0,000000	0,000069
<b>M E3-F0</b>	0,000379	0,004449	0,001034	0,000138	0,000000

<b>M E6-F0</b>	0,000379	0,004312	0,001034	0,000275	0,000000
<b>M E10-F0</b>	0,000379	0,004128	0,001034	0,000459	0,000000
<b>M E3-F0,5</b>	0,000379	0,004426	0,001034	0,000138	0,000023
<b>M E3-F1,0</b>	0,000379	0,004403	0,001034	0,000138	0,000046
<b>M E3-F1,5</b>	0,000379	0,004380	0,001034	0,000138	0,000069
<b>M E6-F0,5</b>	0,000379	0,004288	0,001034	0,000275	0,000023
<b>M E6-F1,0</b>	0,000379	0,004265	0,001034	0,000275	0,000046
<b>M E6-F1,5</b>	0,000379	0,004242	0,001034	0,000275	0,000069
<b>M E10-F0,5</b>	0,000379	0,004105	0,001034	0,000459	0,000023
<b>M E10-F1,0</b>	0,000379	0,004082	0,001034	0,000459	0,000046
<b>M E10-F1,5</b>	0,000379	0,004059	0,001034	0,000459	0,000069
<b>Total</b>	0,006066	0,069350	0,016549	0,003486	0,000550

Fuente: (Autores 2019)

**Tabla A 1.9:** Proporciones de cada material en volumen en los distintos tipos de probetas.

<b>Cantidad en volumen de cada material para 1 probeta de mortero (<math>m^3</math>)</b>					
<b>Tratamiento</b>	<b>Cemento</b>	<b>Arena</b>	<b>Agua</b>	<b>Estiércol</b>	<b>Fibra de coco</b>
<b>Probeta Control</b>	0,000142	0,001720	0,000388	0,000000	0,000000
<b>M E0-F0,5</b>	0,000142	0,001711	0,000388	0,000000	0,000009
<b>M E0-F1,0</b>	0,000142	0,001703	0,000388	0,000000	0,000017
<b>M E0-F1,5</b>	0,000142	0,001694	0,000388	0,000000	0,000026
<b>M E3-F0</b>	0,000142	0,001668	0,000388	0,000052	0,000000
<b>M E6-F0</b>	0,000142	0,001617	0,000388	0,000103	0,000000
<b>M E10-F0</b>	0,000142	0,001548	0,000388	0,000172	0,000000
<b>M E3-F0,5</b>	0,000142	0,001661	0,000388	0,000051	0,000008
<b>M E3-F1,0</b>	0,000142	0,001654	0,000388	0,000050	0,000015
<b>M E3-F1,5</b>	0,000142	0,001648	0,000388	0,000049	0,000023
<b>M E6-F0,5</b>	0,000142	0,001615	0,000388	0,000097	0,000008
<b>M E6-F1,0</b>	0,000142	0,001611	0,000388	0,000093	0,000016
<b>M E6-F1,5</b>	0,000142	0,001596	0,000388	0,000100	0,000025
<b>M E10-F0,5</b>	0,000142	0,001546	0,000388	0,000166	0,000008
<b>M E10-F1,0</b>	0,000142	0,001539	0,000388	0,000165	0,000016
<b>M E10-F1,5</b>	0,000142	0,001531	0,000388	0,000165	0,000024
<b>Total</b>	0,002275	0,026062	0,006206	0,001262	0,000195

Fuente: Autores, 2019.

**Tabla A 1.10:** Proporciones de cada material en masa en los distintos tipos de bloques.  
Fuente: Autores, 2019.

<b>Cantidad en masa de cada material para 1 bloque (kg)</b>					
<b>Tratamiento</b>	<b>Cemento</b>	<b>Arena</b>	<b>Agua</b>	<b>Estiércol</b>	<b>Fibra de coco</b>
<b>Bloque control</b>	1,174263	6,552386	1,033351	0,000000	0,000000
<b>M E0-F0,5</b>	1,174263	6,519624	1,033351	0,000000	0,032762
<b>M E0-F1,0</b>	1,174263	6,486862	1,033351	0,000000	0,065524
<b>M E0-F1,5</b>	1,174263	6,454100	1,033351	0,000000	0,098286
<b>M E3-F0</b>	1,174263	6,355814	1,033351	0,196572	0,000000
<b>M E6-F0</b>	1,174263	6,159243	1,033351	0,393143	0,000000
<b>M E10-F0</b>	1,174263	5,897147	1,033351	0,655239	0,000000
<b>M E3-F0,5</b>	1,174263	6,323053	1,033351	0,193623	0,029486
<b>M E3-F1,0</b>	1,174263	6,290291	1,033351	0,190674	0,058971
<b>M E3-F1,5</b>	1,174263	6,257529	1,033351	0,184777	0,088457
<b>M E6-F0,5</b>	1,174263	6,126481	1,033351	0,369555	0,031288
<b>M E6-F1,0</b>	1,174263	6,093719	1,033351	0,353829	0,062575
<b>M E6-F1,5</b>	1,174263	6,060957	1,033351	0,379383	0,093863
<b>M E10-F0,5</b>	1,174263	5,864386	1,033351	0,632305	0,030305
<b>M E10-F1,0</b>	1,174263	5,831624	1,033351	0,629029	0,060610
<b>M E10-F1,5</b>	1,174263	5,798862	1,033351	0,625753	0,090914
<b>Total</b>	18,788204	99,072077	16,533619	28,473066	0,743041

**Tabla A 1.11:** Proporciones de cada material en masa en los distintos tipos de probetas.

<b>Cantidad en masa de cada material para 1 probeta de mortero (kg)</b>					
<b>Tratamiento</b>	<b>Cemento</b>	<b>Arena</b>	<b>Agua</b>	<b>Estiércol</b>	<b>Fibra de coco</b>
<b>Probeta Control</b>	0,440349	2,457145	0,387510	0,000000	0,000000
<b>M E0-F0,5</b>	0,440349	2,444859	0,387510	0,000000	0,0122857
<b>M E0-F1,0</b>	0,440349	2,432573	0,387510	0,000000	0,0245714
<b>M E0-F1,5</b>	0,440349	2,420288	0,387510	0,000000	0,0368572
<b>M E3-F0</b>	0,440349	2,383430	0,387510	0,073714	0,000000
<b>M E6-F0</b>	0,440349	2,309716	0,387510	0,147429	0,000000
<b>M E10-F0</b>	0,440349	2,211430	0,387510	0,245714	0,000000
<b>M E3-F0,5</b>	0,440349	2,373479	0,387510	0,072609	0,0110572
<b>M E3-F1,0</b>	0,440349	2,363528	0,387510	0,071503	0,0221143
<b>M E3-F1,5</b>	0,440349	2,354682	0,387510	0,069291	0,0331715
<b>M E6-F0,5</b>	0,440349	2,306788	0,387510	0,138583	0,0117734
<b>M E6-F1,0</b>	0,440349	2,300912	0,387510	0,132686	0,0235468
<b>M E6-F1,5</b>	0,440349	2,279416	0,387510	0,142409	0,0353202
<b>M E10-F0,5</b>	0,440349	2,208400	0,387510	0,237348	0,0113971
<b>M E10-F1,0</b>	0,440349	2,197998	0,387510	0,236353	0,0227942

<b>M E10-F1,5</b>	0,440349	2,187485	0,387510	0,235468	0,0341912
<b>Total</b>	7,045576	37,232129	6,200160	1,803107	0,2790802

Fuente: Autores, 2019.

#### A.6: Cálculo del porcentaje de absorción de agua del bloque M E3-F1,5.

Las siguientes ecuaciones A 1.6 y A 1.7 son descritas en la norma ASTM C140-18 y funcionan para el cálculo de absorción de agua y del porcentaje de absorción de agua.

Cálculo de absorción de agua para bloque de control.

$$Absorción \left( \frac{Kg}{m^3} \right) = \left[ \frac{(w_s - w_d)}{(w_s - w_i)} \right] \times 1000 \quad (A 1.6)$$

$$Absorción \left( \frac{Kg}{m^3} \right) = \left[ \frac{(14173 - 13247)}{(14173 - 7665)} \right] \times 1000 = 142,28 \frac{Kg}{m^3}$$

Cálculo de absorción de agua para el bloque M E3-F1,5.

$$Absorción \left( \frac{Kg}{m^3} \right) = \left[ \frac{(13796 - 12449)}{(13796 - 7274)} \right] \times 1000 = 206,53 \frac{Kg}{m^3}$$

Cálculo del porcentaje de absorción de agua para bloque de control.

$$Absorción(\%) = \left[ \frac{(w_s - w_d)}{(w_d)} \right] \times 100 \quad (A 1.7)$$

$$Absorción(\%) = \left[ \frac{(14173 - 13247)}{(13247)} \right] \times 100 = 6,99\%$$

Cálculo del porcentaje de absorción de agua para bloque M E3-F1,5.

$$Absorción(\%) = \left[ \frac{(13796 - 12449)}{(12449)} \right] \times 100 = 10,82\%$$

Donde:

$w_s = \text{masa húmeda sumergida en agua superficie seca}$

$w_d = \text{masa seca}$

$w_i = \text{masa sumergida en agua}$

### A.7: Estudio de costos

En las siguientes tablas se muestran los precios comerciales de los materiales utilizados para la fabricación de los bloques en la ciudad de Montería.

En la tabla A 1.10 se muestran los precios por cantidad de los materiales utilizados para la fabricación de bloques en la ciudad de Montería.

**Tabla A 1.12:** Precios por cantidad de los materiales utilizados para la fabricación de bloques en la ciudad de Montería

Material	Cemento	Arena
Cantidad (kg)	42.5	30
Costo (cop)	22000	1000

Fuente: (Autores 2019)

Por otra parte, en la tabla A 1.11 se muestran los costos que tienen los agregados utilizados para la fabricación de los bloques con estiércol bovino y fibra de coco.

**Tabla A 1.13:** Gastos de los agregados para la fabricación de bloques por unidad.

<b>Costos de agregados</b>		
<b>Procesos</b>	<b>Trituración del estiércol</b>	<b>Fibra de coco</b>
<b>Costo (cop)</b>	99,125	72,92

Fuente: (Autores 2019)

Teniendo en cuenta los valores dados en las tablas anteriores, se realizó un análisis del costo para la fabricación de un bloque sin agregados naturales y otro con los agregados naturales, todo bajo las dimensiones y resistencias expuestas en el trabajo.

En la tabla A 1.12 se observa el costo por unidad de los bloques sin agregados naturales y en la tabla A 1.13 se observa el costo por unidad de los bloques con agregados naturales.

**Tabla A 1.14:** Costos por unidad de materiales utilizados en la fabricación de bloques sin agregados naturales.

<b>Materiales para la fabricación (unidad)</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Cemento</b>	<b>Arena</b>	<b>Agua</b>	<b>Total</b>
<b>Costo (cop)</b>	607,91	206,25	1,5	815,66

Fuente: (Autores 2019)

**Tabla A 1.15:** Costos por unidad de materiales utilizados en la fabricación de bloques con agregados naturales.

<b>Materiales para la fabricación (unidad)</b>						
<b>Descripción</b>	<b>Cemento</b>	<b>Arena</b>	<b>Agua</b>	<b>Estiércol</b>	<b>Fibra de coco</b>	<b>Total</b>
<b>Costo (cop)</b>	607,91	206,25	1,5	99,125	72,92	987,705

Fuente: (Autores 2019)

Analizando las tablas A 1.12 y A 1.13 vemos que el precio de aumenta 172,045 Cop al usar los agregados naturales. Comparando estos precios con los bloques vibro compactados

vendidos en la ciudad de Montería con las mismas dimensiones que oscilan entre los 1,700 Cop y 1,900 Cop se observa una gran diferencia en cuanto a las prestaciones que brindan los bloques con los agregados naturales.

Cabe aclarar que los bloques comercializados en la ciudad de Montería brindan mayor resistencia a la compresión; pero los bloques fabricados con los agregados naturales cumplen con la norma ASTM C129-17 y una reducción del 25% del coeficiente de conductividad térmica para la mezcla M E3 – F1,5 la cual fue la que brindó las mejores prestaciones en cuanto a resistencia y conductividad térmica.